



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

FAIXAS DE PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO

Iaggo Oliveira Correia

Orientadora: Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade

Coorientador: Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão - SE
2020

Iaggo Oliveira Correia

**FAIXAS DE PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO
SÃO FRANCISCO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientadora: Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade

Coorientador: Dr. Paulo Sérgio de Rezende Nascimento

São Cristóvão–SE
2020

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Correia, Iaggo Oliveira
C824f Faixas de proteção à erosão costeira no delta do rio São Francisco / Iaggo Oliveira Correia ; orientadora Ana Cláudia da Silva Andrade. – São Cristóvão, SE, 2020.
50 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geociências e Análise de Bacias) –
Universidade Federal de Sergipe, 2020.

1. Geociências. 2. Deltas. 3. Costa – Proteção. 4. Erosão. 5. Sensoriamento remoto. 6. São Francisco, Rio, Bacia. I. Andrade, Ana Cláudia da Silva, orient. II. Título.

CDU 551.435.12:528.85

FAIXAS DE PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO

por:

Iaggo Oliveira Correia

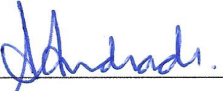

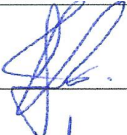
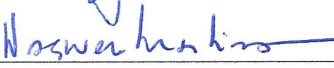
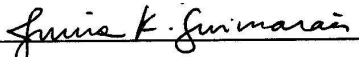
(Oceanógrafo, Universidade Federal da Bahia – 2017)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

MESTRE EM GEOCIÊNCIAS

BANCA EXAMINADORA:

	Dra. Ana Cláudia da Silva Andrade [Orientadora – UFS]
	Dra. Daniela de Melo Apoluceno [Membro Externo – PETROBRAS/RJ]
	Dr. Luiz Alberto Vedana [Membro Interno – UFS]
	Dr. Wagner Souza-Lima [Membro Interno – UFS]
	Dra. Junia Kacenelenbogen Guimarães [Membro Externo – UFBA]

Data da Defesa: 16/03/2020

RESUMO

A erosão costeira no delta do rio São Francisco, intensificada pela construção de barragens ao longo do seu curso, contribuiu para destruição do povoado do Cabeço, no Estado de Sergipe. Para minimizar ou evitar danos similares no futuro, recomenda-se implementar delimitações de até onde é seguro ocupar em determinado tempo, denominadas de faixas de proteção costeiras. Este trabalho objetivou determinar faixas de proteção para o delta do rio São Francisco. Foram utilizados registros da vazão fluvial e imagens dos satélites Landsat-5 e 8, de 1986 a 2017. A regressão linear quantificou as taxas de variação posteriormente classificadas em comportamentos da linha de costa. Os valores mais erosivos foram utilizados para delimitar larguras de segurança à erosão costeira. Uma validação da eficiência do método numérico, utilizado para determinar faixas de proteção, foi realizada de 1986 para 2017. As faixas de proteção foram projetadas de 2017 para 2037 associadas ao critério em que as faixas projetadas pelo método numérico localizadas sobre unidades de conservação ou ecossistêmicas seriam recuadas aos limites internos das unidades. De 1986 a 2017, a vazão fluvial média foi reduzida em 24%, não acentuando os valores das taxas mais erosivas, mas contribuindo para o aumento de 32% de trechos em erosão na linha de costa. Os valores mais erosivos dos lados alagoano ($-55,23 \pm 10,06$ m/ano) e sergipano ($-153,13 \pm 0,11$ m/ano) do delta apresentaram intensidades diferentes devido às dinâmicas costeiras distintas. Foi validada a eficiência do método numérico de delimitação de larguras de segurança à erosão costeira, e exposta a necessidade do uso do critério de recuo de faixas baseado em características locais. Portanto, as faixas de proteção para 2037 utilizaram método numérico (largura de 3.062 m no lado sergipano) e o critério de recuo ao limite interno da APA de Piaçabuçu (lado alagoano). Este modelo pode minimizar ou evitar riscos socioeconômicos à erosão costeira e incentivar a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: vazão fluvial, imagens de satélite; taxas de variação; regressão linear.

ABSTRACT

Coastal erosion in the São Francisco river delta, intensified by the construction of dams along its course, contributed to the destruction of the village of Cabeço, in the State of Sergipe. To minimize or avoid similar damage in the future, it is recommended to implement delimitations as far as it is safe to occupy in a given time, called setback lines. This work aimed to determine setback lines for the São Francisco river Delta. River flow records and images from Landsat-5 and 8 satellites from 1986 to 2017 were used. Linear regression quantified the rates of variation later classified into shoreline behaviors. The most erosive values were used to delimit safety widths for coastal erosion. A validation of the efficiency of the numerical method, used to determine setback lines, was carried out from 1986 to 2017. The setback lines were projected from 2017 to 2037 associated with the criterion in which the setback lines projected by the numerical method located on conservation units or ecosystems would be drawn back to the internal limits of the units. From 1986 to 2017, the average river flow was reduced by 24%, not accentuating the values of the most erosive rates, but contributing to the 32% increase in stretches in erosion along the coastline. The most erosive values of the Alagoas (-55.23 ± 10.06 m/year) and Sergipe (-153.13 ± 0.11 m/year) sides of the delta showed different intensities due to the different coastal dynamics. The efficiency of the numerical method for delimiting safety widths against coastal erosion was validated, and the need to use the setback lines retreat criterion based on local characteristics was exposed. Therefore, the setback lines for 2037 used an numerical method (width of 3,062 m on the Sergipe side) and the criterion of retreat to the internal limit of the Piaçabuçu APA (Alagoas side). This model can minimize or avoid socioeconomic risks to coastal erosion and to encouraging environmental sustainability.

Keywords: river discharge; satellite images; rates of change; linear regression.

SUMÁRIO

	Pg.
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO 2	
FAIXAS DE PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO.....	16
2.1	
INTRODUÇÃO.....	18
2.2	
ÁREA DE ESTUDO.....	20
2.3	
MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
2.4	
RESULTADOS.....	26
2.5	
DISCUSSÃO.....	33
2.6	
CONCLUSÃO.....	39
2.7	
REFERÊNCIAS.....	39
CAPÍTULO 3	
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
ANEXO 1	
DIRETRIZES PARA SUBMISSÃO DO ARTIGO.....	47
ANEXO 2	
COMPROVANTE DA SUBMISSÃO DO ARTIGO.....	50

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1: Introdução		Pg.
Figura 1	Localização e acesso ao delta do rio São Francisco. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	14
 Capítulo 2: Faixas de proteção à erosão costeira no delta do rio São Francisco		
Figura 1	Localização e acesso ao delta do rio São Francisco. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	21
Figura 2	Vazão fluvial média (m ³ /s) do rio São Francisco para o período de 1986 a 2017. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas (ANA)	27
Figura 3	Taxas de variação da linha de costa (m/ano) para os setores 1 (transectos de 1 a 13) e 2 (transectos de 14 a 41), incluindo os trechos de migração do canal de Parapuça (transectos 24 a 28), no período de 1986 a 2017.....	27
Figura 4	Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 1986 a 1996. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	29
Figura 5	Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 1998 a 2007. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	30
Figura 6	Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 2010 a 2017. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	30
Figura 7	Vazão fluvial média (m ³ /s) e percentual da linha de costa em erosão no delta do rio São Francisco para o período de 1986 a 2017.....	31
Figura 8	Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco para todo o período investigado, de 1986 a 2017. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).....	31
Figura 9	Faixas de proteção formuladas pelo método numérico adaptado projetadas da linha de costa de 1986, para um período de 31 anos, ou	

seja, para 2017 (caso 1). Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017)..... 32

Figura 10 Faixas de proteção projetadas para 2037, a partir da linha de costa de 2017 (período de 20 anos, caso 2). A faixa tracejada em preto (setor 1) foi formulada pelo método numérico adaptado, enquanto a faixa verde (setor 1) representou o critério de recuo ao limite mais interno de unidades de conservação e/ou ecossistêmicas. A faixa do lado sergipano (setor 2) foi baseada no método numérico adaptado, sem a utilização do critério. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017)..... 33

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2: Faixas de proteção à erosão costeira no delta do rio São Francisco

	Pg.
Tabela 1 Maiores e menores taxas de variação da linha de costa (m/ano) por período nos dois setores do delta do rio São Francisco: setor 1 (lado alagoano) e setor 2 (lado sergipano).....	28

LISTA DE SIGLAS

AL: Alagoas

ANA: Agência Nacional de Águas

APA: Área de proteção ambiental

DSAS: *Digital Shoreline Analysis System*

E: Leste

EPR: *End Point Rate*

EQM: Erro quadrático médio

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LRR: *Linear Regression Rate*

MMA: Ministério do Meio Ambiente

NASA: *National Aeronautics and Space Administration*

NE: Nordeste

RMS: *Root mean square*

S: Sul

SE: Sergipe

SE: Sudeste

SW: Sudoeste

WLR: *Weighted Linear Regression*

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado objetivou determinar as larguras das faixas de proteção para a linha de costa do delta do rio São Francisco e está estruturada da seguinte forma: Capítulo I (apresentação, objetivos, localização da área, métodos de trabalho, referências bibliográficas), Capítulo II (artigo científico), Capítulo III (considerações finais), Anexo I (diretrizes para submissão do artigo) e Anexo II (comprovante de submissão do artigo).

O Capítulo II consiste em um artigo científico intitulado “Faixas de proteção à erosão costeira no delta do rio São Francisco” e está estruturado da seguinte forma: introdução, embasamento teórico sobre faixas de proteção costeiras, caracterização regional da área de estudo, materiais e métodos, resultados, discussão/conclusão e referências bibliográficas.

O artigo científico foi submetido à Revista Brasileira de Geomorfologia, avaliada pela CAPES como estrato B2, atendendo aos pré-requisitos do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias (PGAB).

O objetivo principal desta foi determinar as larguras das faixas de proteção para a linha de costa do delta do rio São Francisco.

Os objetivos específicos incluíram:

- Analisar multitemporalmente a variação da linha de costa;
- Caracterizar o comportamento da linha de costa;
- Analisar de forma conjunta a vazão fluvial média com o comportamento da linha de costa;
- Validar a eficiência do método de determinação das faixas de proteção costeiras.

A área de estudo compreende a linha de costa do delta do rio São Francisco, localizada na região nordeste brasileira, com limite sul na Reserva biológica de Santa Isabel, Município de Pirambu (Sergipe), e limite norte na praia do Toco, Município de Feliz Deserto (Alagoas). Engloba a linha de costa dos municípios de Pirambu, Pacatuba e Brejo Grande, em Sergipe, e Piaçabuçu e Feliz Deserto, em Alagoas (Figura 1).

O acesso à região é feito pelas rodovias estaduais AL-101 e SE-100, por Alagoas e Sergipe, respectivamente.

A metodologia teve início com a aquisição de registros da vazão mensal na foz do rio São Francisco de 1986 a 2017, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os registros foram convertidos em médias para ilustrar os períodos de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017.

De 1986 a 2017, 13 imagens dos satélites Landsat-5 e 8 foram adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Através do *software* SPRING 5.5.5 (CAMARA *et al.* 1996), as imagens foram submetidas ao processamento digital de imagens (restauração, realce por contraste linear e georreferenciamento), favorecendo a digitalização manual das linhas de costa multitemporais. A linha d'água (limite de areia/água) foi escolhida como o indicador mais adequado para área de estudo.

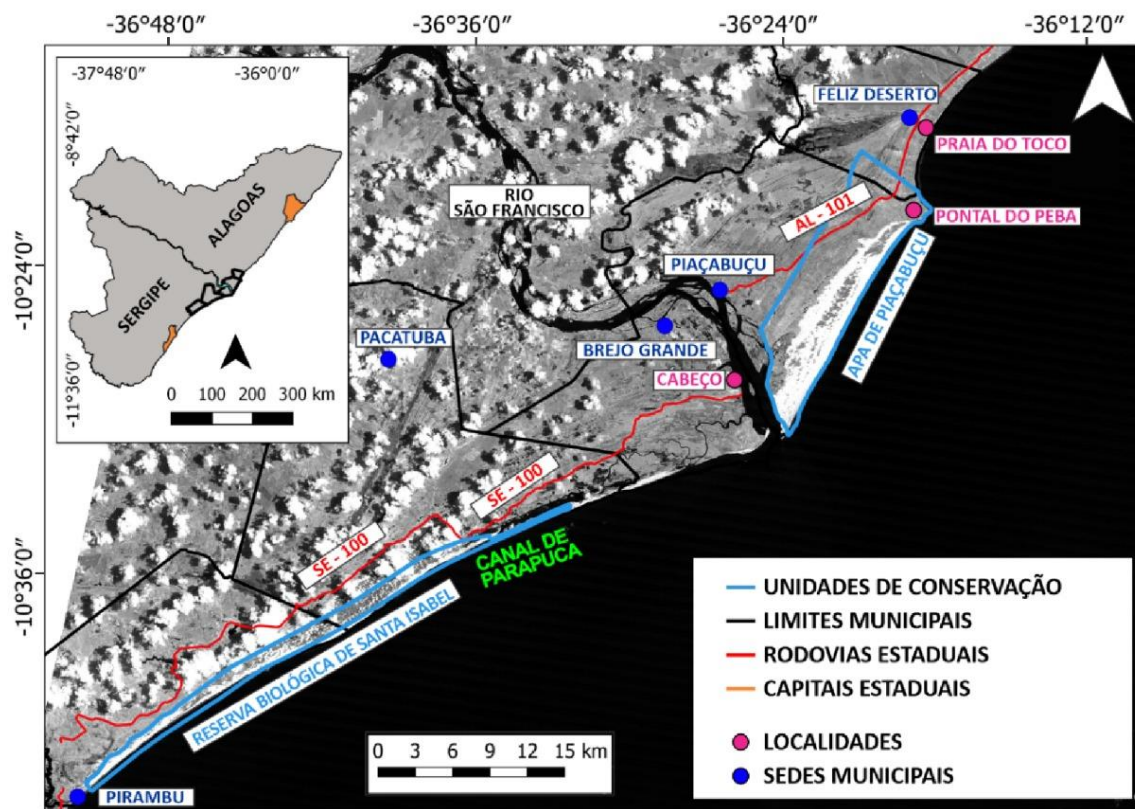


Figura 1- Localização e acesso ao delta do rio São Francisco. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

Com isso, na extensão do DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*, THIELER *et al.* 2009) do *software* ArcGis 10.2, disponibilizado para uso das pesquisas desenvolvidas pelo LACMA pelo LAPA/PGAB/UFS, através da criação da linha de base e transectos espaçados em 2000 m, foi possível calcular as taxas de variação das linhas de costa pelo método estatístico da regressão linear para os períodos de 1986 a 1996, 1998 a 2007, 2010 a 2017 e 1986 a 2017. As taxas foram classificadas de acordo com Luijendijk *et al.* (2018), para determinar o comportamento das linhas de costa. Foi realizada uma análise em conjunto da vazão fluvial média com o percentual erosivo da linha de costa de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017.

Para determinação das faixas de proteção costeiras foram analisados os métodos numéricos de formulação de faixas de proteção costeiras propostos por Ferreira *et al.* (2006), Sabatier *et al.* (2009), Globe & MacKay (2013), Jongejan *et al.* (2016) e Abdalla *et al.* (2017). Para o delta do rio São Francisco foi empregada a metodologia descrita por Sabatier *et al.* (2009) com modificações baseadas nas características do delta do rio São Francisco, consistindo no método numérico adaptado de formulação de faixas de proteção costeiras, em função da disponibilidade de dados.

As faixas de proteção foram determinadas a partir das taxas de variação mais erosivas encontradas no lado alagoano e sergipano multiplicadas à quantidade de anos de projeção das faixas. A validação da eficiência do método numérico adaptado foi realizada através da formulação de faixas para o período de 31 anos, a partir da linha de costa de 1986, ou seja, para 2017.

Posteriormente, as larguras das faixas de proteção foram projetadas para o período de 20 anos, a partir da linha de costa de 2017, ou seja, para 2037. Esta projeção utilizou o critério de que faixas propostas pelo método numérico adaptado a partir de Sabatier *et al.* (2009) que estivessem localizadas sobre unidades de conservação e/ou ecossistêmicas seriam recuadas aos limites internos das unidades.

Referências Bibliográficas

ABDALLA, D. S.; MOOTY, M. E.; SOLIMAN, M. Coastal setback line considering the effect of run-up for the Nile delta zone. In: Twentieth International Water Technology Conference, 2017, Ismailia. **Anais...** Egypt: International Water Technology Association. 2017. p. 512-522.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. SPRING. Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A.; TABORDA, R.; DIAS, J. A. An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**, v. 26, p. 1030-1044, 2006. DOI: 10.1016/j.csr.2005.12.016

GLOBE, B. J.; MACKAY, C. F. Developing risk set-back lines for coastal protection using shoreline change and climate variability factors. **Journal of Coastal Research**, v. Special Issue, n. 65, p. 2125-2130, 2013. DOI: 10.2112/SI65-359.1

JONGEJAN, R.; RANASINGHE, R.; WAINWRIGHT, D.; CALLAGHAN, D. P.; REYNS, J. Drawing the line on coastline recession risk. **Ocean & Coastal Management**, v.122, p.87-94, 2016.

LUIJENDIJK, A; HAGENAARS, G; RANASINGHE, R, BAART, F; GENNADII, D; ARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports-Nature**, v. 8, n. 6641, p. 1-11, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-24630-6

SABATIER, F.; SAMAT, O.; BRUNEL, C.; HEURTEFEUX, H.; DELANGHE-SABATIER, D. Determination of set-back lines on eroding coasts. Example of the beaches of the Gulf of Lions (French Mediterranean Coast). **Journal of Coastal Conservation**, v. 13, p. 57-64, 2009. DOI 10.1007/s11852-009-0062-y

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U. S. Geological Survey, 2009, 79p.

CAPÍTULO 2: FAIXAS DE PROTEÇÃO À EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO SÃO FRANCISCO

Resumo

A erosão costeira no delta do rio São Francisco, intensificada pela construção de barragens ao longo do seu curso, contribuiu para destruição do povoado do Cabeço, no Estado de Sergipe. Para minimizar ou evitar danos similares no futuro, recomenda-se implementar delimitações de até onde é seguro ocupar em determinado tempo, denominadas de faixas de proteção costeiras. Este trabalho objetivou determinar faixas de proteção para o delta do rio São Francisco. Foram utilizados registros da vazão fluvial e imagens dos satélites Landsat-5 e 8, de 1986 a 2017. A regressão linear quantificou as taxas de variação posteriormente classificadas em comportamentos da linha de costa. Os valores mais erosivos foram utilizados para delimitar larguras de segurança à erosão costeira. Uma validação da eficiência do método numérico, utilizado para determinar faixas de proteção, foi realizada de 1986 para 2017. As faixas de proteção foram projetadas de 2017 para 2037 associadas ao critério em que as faixas projetadas pelo método numérico localizadas sobre unidades de conservação ou ecossistêmicas seriam recuadas aos limites internos das unidades. De 1986 a 2017, a vazão fluvial média foi reduzida em 24%, não acentuando os valores das taxas mais erosivas, mas contribuindo para o aumento de 32% de trechos em erosão na linha de costa. Os valores mais erosivos dos lados alagoano ($-55,23 \pm 10,06$ m/ano) e sergipano ($-153,13 \pm 0,11$ m/ano) do delta apresentaram intensidades diferentes devido às dinâmicas costeiras distintas. Foi validada a eficiência do método numérico de delimitação de larguras de segurança à erosão costeira, e exposta a necessidade do uso do critério de recuo de faixas baseado em características locais. Portanto, as faixas de proteção para 2037 utilizaram método numérico (largura de 3.062 m no lado sergipano) e o critério de recuo ao limite interno da APA de Piaçabuçu (lado alagoano). Este modelo pode minimizar ou evitar riscos socioeconômicos à erosão costeira e incentivar a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; balanço sedimentar; vazão fluvial.

Abstract

Coastal erosion in the São Francisco river delta, intensified by the construction of dams along its course, contributed to the destruction of the village of Cabeço, in the State of Sergipe. To minimize or avoid similar damage in the future, it is recommended to implement delimitations as far as it is safe to occupy in a given time, called setback lines. This work aimed to determine setback lines for the São Francisco river Delta. River flow records and images from Landsat-5 and 8 satellites from 1986 to 2017 were used. Linear regression quantified the rates of variation later classified into shoreline behaviors. The most erosive values were used to delimit safety widths for coastal erosion. A validation of the efficiency of the numerical method, used to determine setback lines, was carried out from 1986 to 2017. The setback lines were projected from 2017 to 2037 associated with the criterion in which the setback lines projected by the numerical method located on conservation units or ecosystems would be drawn back to the internal limits of the units. From 1986 to 2017, the average river flow was reduced by 24%, not accentuating the values of the most erosive rates, but contributing to the 32% increase in stretches in erosion along the coastline. The most erosive values of the Alagoas (-55.23 ± 10.06 m/year) and Sergipe (-153.13 ± 0.11 m/year) sides of the delta showed different intensities due to the different coastal dynamics. The efficiency of the numerical method for delimiting safety widths against coastal erosion was validated, and the need to use the setback lines retreat criterion based on local characteristics was exposed. Therefore,

the setback lines for 2037 used an numerical method (width of 3,062 m on the Sergipe side) and the criterion of retreat to the internal limit of the Piaçabuçu APA (Alagoas side). This model can minimize or avoid socioeconomic risks to coastal erosion and to encouraging environmental sustainability.

Keywords: remote sensing; sedimentary budget; river flow.

2.1 INTRODUÇÃO

A zona costeira consiste na transição entre o oceano e o continente e se estende até onde os processos oceânicos são influentes na porção terrestre adjacente (GARRISON, 2010). A linha de costa, limite entre o continente e o oceano, é sujeita à rápida modificação no seu posicionamento. Esta alta variabilidade se deve a fatores naturais, como elevação do nível do mar e eventos de tempestades, e/ou antrópicos, a exemplo da instalação de barragens ao longo de rios, estruturas de contenção nas margens dos rios e na linha de costa, etc. (BIRD, 2008; IPCC, 2018).

Os fatores naturais e antrópicos interferem no resultado final entre o volume de entrada e saída de sedimentos do sistema (balanço sedimentar). Dessa forma, a linha de costa pode progradar (acrecção), recuar/retrogradar (erosão) ou manter-se estável (MUEHE, 2004; BIRD, 2008; LUIJENDIJK *et al.* 2018).

Apesar desta alta variabilidade da zona costeira, as atividades econômicas, recursos naturais, lazer e beleza cênica tornam a área atrativa à ocupação humana e às atividades de recreação e lazer. A ocupação humana, quando desordenada, e a erosão costeira ocasionam riscos às estruturas antrópicas, e com isso, riscos socioeconômicos e ambientais (MUEHE, 2004; COELHO, 2005; SANCHEZ-ARCILLA *et al.* 1998).

Para contenção de processos erosivos e redução de riscos socioeconômicos, métodos de proteção como espigões, molhes, quebra-mares, etc., conhecidos como estruturas rígidas de proteção (*hard solutions*), nem sempre são adequados. Essas estruturas de contenção à erosão interferem na morfodinâmica das ondas, alterando a dispersão de sedimentos ao longo da costa e transferindo o problema de erosão para áreas adjacentes (HEGDE, 2010; DOMINGUEZ *et al.* 2018). Ainda segundo Hegde (2010), métodos ecológicos, denominados de soluções brandas (*soft solutions*), podem ser a solução para reduzir ou evitar o recuo da linha de costa. Como exemplo destes métodos, a alimentação artificial de praias é utilizada em áreas sob erosão costeira (PRANZINI *et al.* 2015). Porém, a aparente solução dos problemas erosivos pode provocar mudanças na morfodinâmica de uma praia, além de incentivar a ocupação humana, com a construção de casas e edifícios e instalação de infraestruturas de recreação e lazer (NORDSTROM, 2010), fatores inapropriados à redução de riscos socioeconômicos.

Para autores como Muehe (2004), Hegde (2010), Dominguez *et al.* (2018) e MMA (2018), o planejamento adequado da ocupação do espaço a partir da realocação de pessoas e/ou infraestruturas é a maneira mais eficaz de minimizar os riscos socioeconômicos e ambientais causados pela erosão. Muehe (2004) e Hegde (2010) destacaram que métodos preventivos, a exemplo de faixas de proteção ou faixas de recuo (*setback lines*), vêm recentemente sendo recomendadas em todo o planeta. Segundo Ferreira *et al.* (2006) e Sabatier *et al.* (2009), as faixas de proteção são delimitações de até onde é seguro ocupar por um determinado tempo.

Com isso, impedem a ocupação humana até certa distância da linha de costa, evitando danos socioeconômicos e reduzindo os impactos ambientais em áreas sob erosão costeira.

Luijendijk *et al.* (2018) mostraram a ocorrência da erosão costeira em todo o planeta. Silva *et al.* (2014) destacaram que os riscos aos processos erosivos são amplificados em zonas costeiras de baixa elevação, com menos de 10 metros acima do nível do mar, a exemplo de regiões deltaicas.

O delta do rio São Francisco engloba uma planície costeira baixa com a presença de dunas, terraços marinhos, terras úmidas e manguezais (BITTENCOURT *et al.* 1983; DOMINGUEZ *et al.* 1992). A altitude varia de poucos metros até cerca de 30-40 m acima do nível do mar nas dunas. Weiguo *et al.* (2011) classificaram esse delta como assimétrico dominado por ondas, com ação fluvial e da deriva litorânea na deposição sedimentar. Dominguez & Bittencourt (1996), Fontes (2001), Oliveira *et al.* (2003), Bittencourt *et al.* (2007), Medeiros *et al.* (2007) e Medeiros *et al.* (2014) relacionaram a predominância de trechos erosivos na linha de costa do delta do rio São Francisco ao balanço sedimentar negativo induzido por ações antrópicas, com destaque para a construção barragens que resultaram na redução significativa da descarga de sedimentos no curso inferior do rio. Segundo Fontes (2001), este processo causou perda aproximada de 80.000 m² a partir da linha de costa, de 1971 a 1987, ocasionando a destruição do povoado do Cabeço, localizado na margem da foz, no Município de Brejo Grande, em Sergipe. Oliveira *et al.* (2003) destacaram que em função do avanço do mar, o povoado do Cabeço teve de ser deslocado para o interior.

Oliveira (2003) e Bittencourt *et al.* (2007) identificaram elevada variabilidade morfológica no lado sergipano do delta. Muehe (2004) e Dominguez *et al.* (2018) defenderam que desembocaduras fluviais não devem ser ocupadas, pois apresentam comportamento de difícil previsão devido à elevada variabilidade. Apesar disso, ocupações e usos, a exemplo do antigo povoado do Cabeço, de viveiros de peixes, da carcinicultura, criação de gado e/ou plantações, ocorrem na zona costeira do delta. A presença da Reserva Biológica de Santa Isabel e da área de proteção ambiental de Piaçabuçu na zona costeira do delta não impediram o desenvolvimento das atividades anteriormente mencionadas (VIEIRA *et al.* 2010; BARRETO; RODRIGUES, 2016; SANTOS *et al.* 2017). Dessa forma, a ocupação humana presente no delta justifica a necessidade de planejamento do uso e ocupação da linha de costa do delta do rio São Francisco para redução dos riscos causados pela erosão costeira.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento e determinar a largura de faixas de proteção costeiras para a linha de costa do delta do rio São Francisco, entre a Reserva Biológica de Santa Isabel (Sergipe) e a praia do Toco, no Município de Feliz Deserto (Alagoas).

A implantação das faixas pode evitar futuras ocupações nesses locais, reduzindo ou minimizando os riscos socioeconômicos e ambientais. A sugestão de limites para ocupação na área investigada pode favorecer a preservação de unidades ecossistêmicas, dunas e manguezais, que ajudam a conter o processo erosivo e a regularizar o balanço de sedimentos na zona costeira.

A seguir serão apresentadas algumas metodologias sobre faixas de proteção à erosão costeira utilizadas na literatura e que servirão de base para a escolha da metodologia adotada nesse trabalho.

Faixas de proteção costeiras

Muehe (2004) e Murray *et al.* (2012) discutiram a ocorrência de faixas de recuo à ocupação humana em todo o planeta. As determinações das faixas são muitas vezes legisladas por governos federais, utilizando desde critérios não relacionados à erosão costeira, como visto em Belize (BELIZE, 2003), com largura de 20 metros a partir da linha de preamar máxima, até critérios de proteção incorporando a extensão total de unidades ecossistêmicas (manguezais e dunas) ou, até mesmo, considerando os aspectos culturais e sociais, como vistos em Cuba (HOUCK, 2018). No Brasil, os estados e municípios podem criar instrumentos legais em seus respectivos planos estaduais e municipais de gestão costeira, baseados em características e necessidades locais (SZLAFSZTEIN; STERR, 2007).

Atualmente, Ferreira *et al.* (2006), Sabatier *et al.* (2009), Globe & Mackay, (2013), Jongejan *et al.* (2016) e Abdalla *et al.* (2017) sugeriram faixas de proteção costeiras baseadas em métodos numéricos a partir de características locais que estão descritas a seguir.

A metodologia para as costas arenosas portuguesas, descrita por Ferreira *et al.* (2006), incluiu os cenários de acreção, estabilidade e erosão de longo prazo (décadas) e de curto prazo (eventos instantâneos, a exemplo de tempestades). Foram utilizados dados de altura de dunas e profundidades de fechamento do perfil praiar para estimar o valor do recuo adicional devido à elevação do nível do mar (regra de Brunn). Isso resultou em faixas de larguras superiores a 100 m.

Sabatier *et al.* (2009) sugeriram faixas para França fundamentadas na erosão de longo prazo e eventos de tempestade. A técnica considerou que o balanço sedimentar e o aumento nível relativo do mar permaneceriam constantes até 2030, promovendo faixas com larguras que variaram entre 7 e 88 metros. Além das taxas de variações multitemporais da linha de costa, Globe & MacKay (2013) propuseram faixas ajustadas à possível aceleração da elevação do nível relativo do mar e associadas ao índice de vulnerabilidade costeiro, para a África do Sul. Através desses fatores foram sugeridos recuos de 198 a 394 m. Os eventos de tempestades de curto prazo na Austrália foram associados a um método probabilístico por Jongejan *et al.* (2016), formulando faixas com larguras de 60 a 70 m. Abdalla *et al.* (2017) formularam faixas de 68 a 260 m, baseadas na extensão vertical e horizontal do efeito *run-up* na costa do delta do Nilo, através do constante monitoramento que permitiu a vasta base de dados locais.

2.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a linha de costa do delta do rio São Francisco, localizada na região nordeste brasileira, com limite sul na Reserva biológica de Santa Isabel, Município de Pirambu (Sergipe), e limite norte na praia do Toco, Município de Feliz Deserto (Alagoas). Engloba a linha de costa dos municípios de Pirambu, Pacatuba e Brejo Grande, em Sergipe, e Piaçabuçu e Feliz Deserto, em Alagoas (Figura 1).

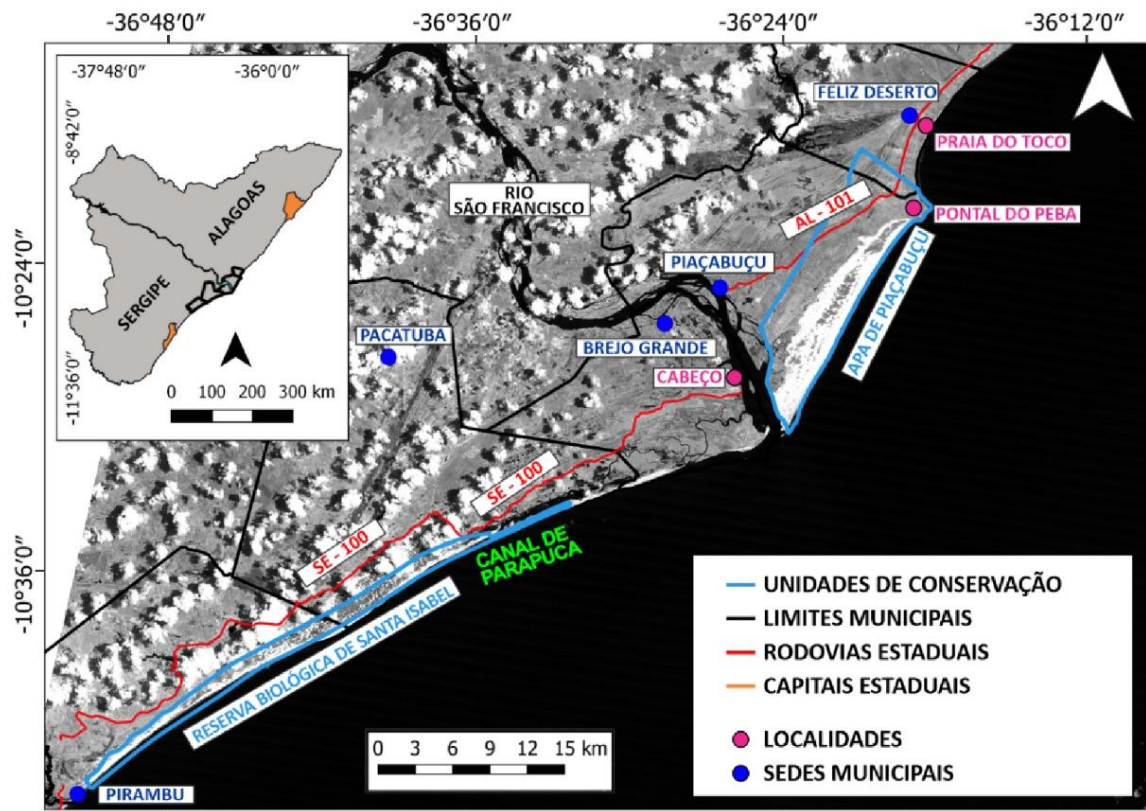


Figura 1- Localização e acesso ao delta do rio São Francisco. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

A linha de costa do delta, com extensão de cerca de 80 km, é constituída principalmente por praias expostas à ação de ondas, com exceção das praias ao norte de Pontal do Peba, Alagoas, consideradas protegidas da ação direta das ondas de sudeste e sul-sudeste (BITTENCOURT *et al.* 2006).

A planície costeira do delta é caracterizada por sedimentos inconsolidados do Quaternário, compostos por areias e lamas, das seguintes unidades geológico-geomorfológicas: dunas ativas e inativas, terraços marinhos, terras úmidas, manguezais e praias atuais. A presença de sedimentos lamosos é maior no lado sergipano, na região conhecida como Ponta dos Mangues, com uma faixa de cerca de 3 km de largura, que se estreita até desaparecer no canal de Parapuça (BITTENCOURT *et al.* 1983), desembocadura fluvial altamente móvel na direção sudoeste (GUIMARÃES & DOMINGUEZ, 2008). Um pontal arenoso de largura variada, que se alarga para sudoeste, separa o manguezal do oceano (GUIMARÃES & DOMINGUEZ, 2008). Desse pontal até o limite sul da área de estudo, a linha de costa é bordejada por areias de dunas eólicas. O lado alagoano é marcado por sedimentos arenosos representados por dunas eólicas da foz do rio São Francisco até o Pontal do Peba e terraços marinhos até o limite norte da área de estudo (BITTENCOURT *et al.* 1983). No Pontal do Peba ocorre um banco recifal emerso, bordejando a praia, dando origem a um promontório em forma de cúspide (BARBOSA *et al.* 2003).

As ondas mais frequentes para a região leste brasileira, incluindo o delta do rio São Francisco, foram de leste (E), sudeste (SE) e sul (S) com alturas entre 1 e 4,3 m e períodos de 1 a 21 segundos (PIANCA *et al.* 2010). De acordo com Dominguez (1996), a deriva

longitudinal no delta é predominantemente orientada de nordeste (NE) para sudoeste (SW). Porém, Oliveira (2003) e Guimarães (2010) mostraram a existência de divergências da deriva litorânea, com transporte sedimentar orientado de SW-NE, na região do Pontal do Peba (Alagoas) e trechos próximos à foz do rio São Francisco, no Município de Brejo Grande (Sergipe). As informações das características da maré no Terminal marítimo Inácio Barbosa (Sergipe) indicaram altura máxima de 2,5 m, com caráter semidiurno, no regime de mesomarés (CPSE, 2018).

O clima da zona costeira do delta é quente, semiúmido, com variações de temperatura entre 24 e 26°C, seis ou mais meses secos durante o ano, apresentando períodos chuvosos no outono e inverno. A pluviosidade média anual na região é de 1.500 mm (NIMER, 1989).

A formação do delta teve início há 8.000 anos pela ação de fatores como a deriva litorânea, variação do nível do mar e deposição sedimentar fluvial, que determinaram o comportamento de progradação da linha de costa a uma taxa de 5,4 m/ano até 4.700 anos atrás, tornando a costa retilínea. Devido à nova orientação da linha de costa, entre 4.700 anos e o presente, a taxa de avanço da linha de costa foi reduzida a 2 m/ano. A partir do final do Holoceno, com a nova orientação da linha de costa e desenvolvimento da cúspide deltaica, a linha de costa tendeu a alcançar uma configuração geral próxima ao equilíbrio (GUIMARÃES, 2010).

Esta tendência geral de progradação foi alterada por processos naturais e ações antrópicas. Aproximadamente nos últimos sessenta anos, as ações antrópicas ocasionaram redução significativa na descarga de sedimentos no curso inferior do rio. A vazão fluvial e o fluxo de material particulado em suspensão próximo à desembocadura foram de 3.010 m³/s e 69 x 10⁵ t/ano, respectivamente, no período de 1938 a 1973. Porém, após a construção de 33 barragens, com nove no curso do rio, esses valores foram reduzidos a cerca de 1.760 m³/s e 2,3 x 10⁵ t/ano, respectivamente. Com isso, ocorreu erosão da linha de costa do delta (DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 1996; FONTES, 2001; OLIVEIRA, 2003; BITTENCOURT *et al.* 2007; MEDEIROS *et al.* 2007; MEDEIROS *et al.* 2014).

Segundo Dominguez *et al.* (1983), Dominguez (1996) e Bittencourt *et al.* (2007), na margem alagoana a erosão é menos acentuada, com alternância entre períodos de progradação e equilíbrio, devido à ação conjunta do transporte longitudinal, de sentido NE-SW, e da descarga fluvial. Durante períodos de descarga fluvial máxima, ocorre o “efeito molhe” (*groin effect*), em que os rios atuam como molhes hidráulicos retendo, a barlar (updrift) da foz, os sedimentos transportados pela deriva longitudinal. Em períodos de baixa descarga fluvial, os sedimentos trazidos pelo transporte longitudinal não ficam retidos no lado alagoano do delta, ocorrendo erosão nesse setor. Os sedimentos carregados pelo transporte longitudinal chegam ao lado sergipano do delta, por vezes depositando-se na linha de costa.

O recuo da linha de costa foi mais acentuado e evidente no lado sergipano, sendo principalmente dependente da carga sedimentar proveniente da descarga fluvial, reduzida devido a construção das barragens (DOMINGUEZ; BITTENCOURT, 1996; BITTENCOURT *et al.* 2007), processo que juntamente a divergência no sentido do transporte longitudinal, identificada pela modelagem costeira realizada por Oliveira (2003), favoreceu um *deficit* local de sedimentos e, provavelmente, contribuiu para o recuo da linha de costa. Fontes secundárias de sedimentos para o lado sergipano ocorrem em períodos de baixa descarga fluvial, evidenciadas pela passagem de sedimentos da deriva litorânea do lado alagoano para o lado sergipano (*bypass* sedimentar), quando não ocorre o “efeito molhe”, e os sedimentos de barras

fluviais (acumulação de sedimentos na foz formando barras submersas e/ou emersas) anexados à costa sergipana pela ação das ondas e da deriva litorânea (DOMINGUEZ, 1996).

A região contém municípios predominantemente rurais, praias ocupadas por populações tradicionais, incluindo a Reserva biológica de Santa Isabel, Sergipe, e a área de proteção ambiental de Piaçabuçu, Alagoas (VIEIRA *et al.* 2010; BARRETO; RODRIGUES, 2016; SANTOS *et al.* 2017), que também são classificadas como praias de unidade de conservação (MUEHE, 2004).

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Análise da vazão do baixo curso do rio São Francisco

Os dados da vazão fluvial foram obtidos para o período de 1986 a 2017 na Agência Nacional de Águas (ANA). As vazões mensais foram convertidas em médias para três períodos: (i) 1986 a 1996 (10 anos), (ii) 1998 a 2007 (9 anos) e (iii) 2010 a 2017 (7 anos).

Aquisição e processamento digital de imagens (PDI)

As imagens orbitais dos satélites Landsat-5 e Landsat-8 dos sensores TM (*Thematic Mapper*) e OLI (*Operational Land Imager*), respectivamente, foram obtidas gratuitamente no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Foram utilizados 13 conjuntos de imagens multitemporais: 31/05/1986, 20/12/1990, 04/10/1991, 22/08/1993, 23/03/1996, 21/09/1998, 24/07/2000, 21/10/2003, 28/02/2005, 25/05/2007 e 27/12/2010 do Landsat-5 e 15/05/2015 e 18/04/2017 do Landsat-8, cenas incompletas da órbita 214 e pontos 67 e 68. É importante ressaltar que a seleção das imagens foi determinada pela menor presença e/ou ausência de cobertura de nuvem na área de estudo, visando identificar a totalidade dos alvos terrestres.

As técnicas de PDI realizadas no *software* SPRING 5.5.5 (CAMARA *et al.* 1996) foram a restauração de imagem e realce por contraste linear. As imagens do Landsat-5 foram submetidas à técnica de restauração de imagem. Este procedimento permitiu a alteração da resolução espacial das imagens do Landsat-5, de 30 m para 15 m, igualando-as às imagens pancromáticas do Landsat-8. Todas as imagens passaram pelo procedimento de realce por contraste linear, com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Este procedimento permitiu o destaque e a visualização do indicador de linha de costa, que será descrito posteriormente.

Georreferenciamento das imagens de satélite

O georreferenciamento das imagens Landsat-5 foi realizado a partir das imagens do Landsat-8, previamente corrigidas geometricamente pela NASA, utilizando o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000. Os desvios dos valores calculados nos pontos de georreferenciamento em relação aos pontos originais de referência das imagens do Landsat-8 foram indicados através dos erros quadráticos médios (RMS), representando a acurácia do procedimento (MELO; PACHECO, 2004).

O desvio-padrão do georreferenciamento foi calculado a partir da fórmula:

$$\sigma = \sqrt{(Er_1 - \bar{e})^2 + (Er_2 - \bar{e})^2 + (Er_3 - \bar{e})^2 + (Er_4 - \bar{e})^2 \dots} / Q \quad (1)$$

Onde,

σ = desvio-padrão;

Er = erros quadráticos médios referentes ao georreferenciamento de cada imagem de satélite;

\bar{e} = média dos erros quadráticos;

Q = quantidade de erros quadráticos médios.

A partir do desvio-padrão médio foi calculado o intervalo de confiança para o nível de confiança de 95%, através da fórmula:

$$In = Z^a_2 \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Onde,

In = intervalo de confiança;

Z = coeficiente de confiança;

^a= nível de confiança;

σ = desvio-padrão;

n = quantidade de imagens para o período.

Definição do indicador de linha de costa

A linha d'água (limite de areia/água), indicada pela variação de cor ou tons de cinza entre a areia e a água (STAFFORD; LANGFELDER, 1971) foi escolhida como o indicador de linha de costa para área de estudo. As linhas de costa referentes as imagens de satélite (1986, 1990, 1991, 1993, 1996, 1998, 2000, 2003, 2005, 2007, 2010, 2015 e 2017) foram digitalizadas manualmente.

Cálculo da taxa de variação das linhas de costa

Na extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) do ArcGis® 10.2, foi traçada a linha de base (*baseline*) no continente para a área alagoana e no oceano para área sergipana, seguindo o contorno das linhas de costa. Em seguida, foram gerados transectos ortogonais à linha de costa, espaçados em 2.000 m entre si. Com isso, foi possível calcular as taxas de variação (m/ano) da linha de costa pelo método estatístico da regressão linear com intervalo de 95% de confiança (THIELER *et al.* 2009). Conforme Thieler *et al.* (2009), a regressão linear é determinada ajustando-se uma linha de regressão de mínimos quadrados a todos os pontos da linha de costa para um transecto em particular, e com isso é obtida uma linha de tendência. A taxa de regressão linear é a inclinação da linha.

Os valores das taxas de regressão linear (taxas de variação da linha de costa) foram determinados para os períodos de: (i) 1986 a 1996 (10 anos), (ii) 1998 a 2007 (9 anos), (iii) 2010 a 2017 (7 anos) e (iv) 1986 a 2017 (período total de 31 anos).

Comportamento da linha de costa

O comportamento da linha de costa foi obtido utilizando as taxas de variação da linha de costa na classificação proposta por Luijendijk *et al.* (2018), na qual: acreção ($> +0,5$ m/ano); estabilidade ($+0,5$ m/ano a $-0,5$ m/ano); erosão (-1 a $-0,5$ m/ano); erosão intensa (-3 a -1 m/ano); erosão severa (-5 a -3 m/ano) e erosão extrema (< -5 m/ano).

Os percentuais de linha de costa em erosão foram comparados à vazão fluvial média do rio São Francisco nos períodos de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017.

Cálculo das faixas de proteção (*setback lines*)

Para a determinação das faixas de proteção costeiras, o delta foi dividido em dois setores de acordo com a influência da vazão fluvial no aporte de sedimentos e no efeito molhe hidráulico e, na deriva litorânea de sedimentos: Setor 1 (lado alagoano - transectos 1 a 13) e Setor 2 (lado sergipano - transectos 14 a 41).

Nesse trabalho foram analisados métodos numéricos de formulação de faixas de proteção costeiras propostos por Ferreira *et al.* (2006), Sabatier *et al.* (2009), Globe & MacKay (2013), Jongejan *et al.* (2016) e Abdalla *et al.* (2017), e foi empregada a metodologia descrita por Sabatier *et al.* (2009), expressa pela seguinte fórmula:

$$Fx = (\Delta rLT \times A) + \Delta rST \quad (3)$$

Onde:

ΔrLT = taxas de variação da linha de costa (m/ano) em cada transecto, considerando a tendência histórica de erosão costeira (médio a longo prazo);

A = número de anos de projeção da faixa de proteção;

ΔrST = recuo episódico da linha de costa (curto prazo) relacionado aos eventos de tempestades.

Para o delta do rio São Francisco, algumas considerações foram feitas, a saber:

- (i) Caso 1: Foi realizada uma validação da eficiência do método numérico de formulação de faixas de proteção caso as faixas tivessem sido implementadas no ano de 1986 e projetadas para os 31 anos seguintes, ou seja, para 2017. Nesta análise, a taxa de erosão mais extrema (período de 1986 a 2017) para cada setor foi utilizada como taxa de variação da linha de costa (variável ΔrLT). As faixas foram plotadas na imagem de 2017.
- (ii) Caso 2: Foi realizada uma projeção, a partir do método numérico de formulação de faixas de proteção, a partir da linha de costa de 2017 para os 20 anos seguintes, ou seja, faixas de proteção costeiras para o ano de 2037. Nesta análise, a taxa de erosão mais extrema (período de 1986 a 2017) para cada setor foi utilizada como taxa de variação da linha de costa (variável ΔrLT). As faixas localizadas sobre unidades de conservação

e/ou ecossistêmicas foram recuadas aos limites mais internos das unidades, critério necessário no setor 1 (Alagoas). As faixas sem e com a utilização deste critério foram plotadas na imagem de 2017 com a finalidade de comparação.

- (iii) Em função da ausência de registros de eventos de tempestade (marés meteorológicas) para a área de estudo, o parâmetro ΔrST foi considerado nulo (zero) para o caso 1. Dessa forma, o termo ΔrST foi considerado nulo também para o caso 2. Portanto, em função do parâmetro ΔrST ter sido considerado nulo (zero) para os dois casos, o método numérico de Sabatier *et al.* (2009) para faixas de proteção foi adaptado para o delta do rio São Francisco e indicado pela fórmula:

$$Fx = (\Delta rLT \times A) \quad (4)$$

Sendo que, os números de anos considerados na projeção futura da linha de costa para os casos 1 e 2, para os anos 2017 e 2037, foram de 31 e 20 anos, respectivamente:

Caso 1: Faixas projetadas para 31 anos, a partir da linha de costa de 1986, para o ano de 2017:

$$Fx = (\Delta rLT \times 31) \quad (5)$$

Caso 2: Faixas projetadas para 20 anos, a partir da linha de costa de 2017, para o ano de 2037:

$$Fx = (\Delta rLT \times 20) \quad (6)$$

2.4 RESULTADOS

Vazão do baixo curso do rio São Francisco

A vazão fluvial média na foz do rio São Francisco nos períodos de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017 foi de 2.273 m³/s, 1.876 m³/s e 1.725 m³/s, respectivamente, representando diminuição de 24% de 1986 a 2017 (Figura 2).

Taxas de variação da linha de costa de 1986 a 2017

Na figura 3 foi visualizada a representação gráfica da análise quantitativa das taxas de variação das linhas de costa obtidas pela regressão linear (m/ano) associadas aos intervalos de confiança.

Para todos períodos, as taxas mais positivas de variação da linha de costa estiveram nos trechos que antecederam a localização do canal de Parapuça, no lado sergipano (setor 2). Além disso, as taxas mais negativas de variação da linha de costa estiveram nos trechos localizados próximos à foz, nos lados alagoano e sergipano.

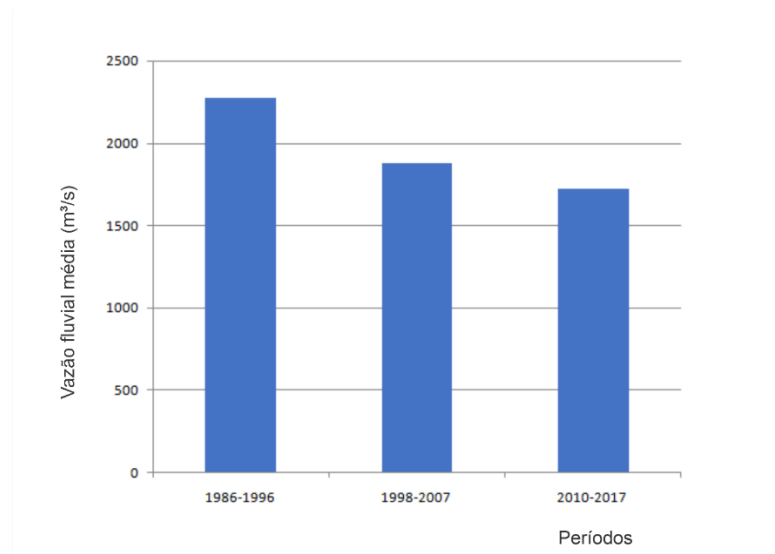


Figura 2- Vazão fluvial média (m³/s) do rio São Francisco para o período de 1986 a 2017. Fonte dos dados: Agência Nacional de Águas (ANA).

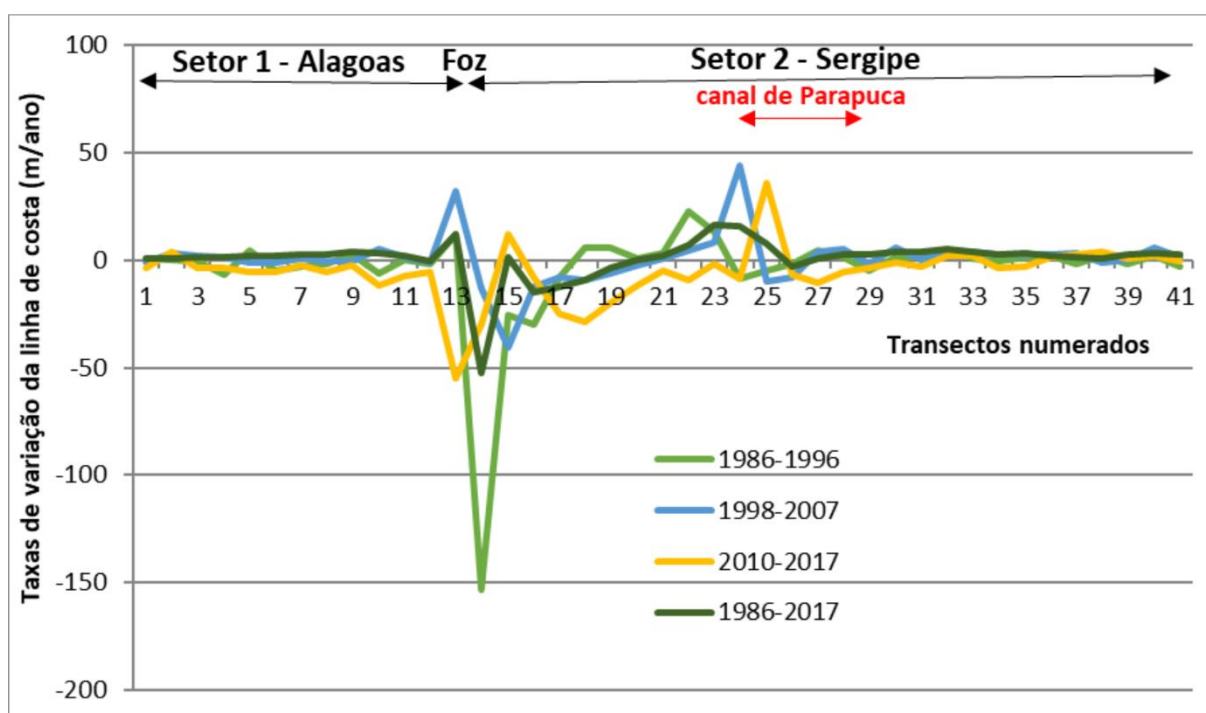


Figura 3- Taxas de variação da linha de costa (m/ano) para os setores 1 (transectos de 1 a 13) e 2 (transectos de 14 a 41), incluindo os trechos de migração do canal de Parapuca (transectos 24 a 28), no período de 1986 a 2017.

No período de 1986 a 1996, as taxas de variação da linha de costa foram associadas à margem de erro de $\pm 0,11$ m, a partir dos erros quadráticos médios de 0,47 m; 0,62 m; 0,48 m; 0,46 m e 0,81 m, referentes às imagens de 1986, 1990, 1991, 1993 e 1996, respectivamente. Para o setor 1, os maiores valores de taxa de variação da linha de costa, positivos e negativos, foram de $+12,00 \pm 0,11$ m/ano e $-6,68 \pm 0,11$ m/ano, respectivamente. No setor 2, os maiores valores de taxa de variação da linha de costa, positivos e negativos, foram de $+22,93 \pm 0,11$ m/ano e $-153,13 \pm 0,11$ m/ano, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1).

No período de 1998 a 2007, as taxas de variação da linha de costa foram associadas à margem de erro de $\pm 0,14$ m, a partir dos erros quadráticos médios de 0,81 m; 0,41 m; 0,56 m; 0,46 m e 0,78 m, referentes às imagens de 1998, 2000, 2003, 2005 e 2007, respectivamente. Os maiores valores de taxa de variação da linha de costa no setor 1, positivos e negativos, foram de $+32,00 \pm 0,14$ m/ano e de $-1,39 \pm 0,14$ m/ano, respectivamente. No setor 2, os maiores valores de taxa de variação da linha de costa, positivos e negativos, foram de $+44,28 \pm 0,14$ m/ano e $-40,81 \pm 0,14$ m/ano, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1).

No período de 2010 a 2017, as taxas de variação da linha de costa foram associadas à margem de erro de $\pm 10,06$ m, a partir do erro quadrático médio de 0,66 m, para imagem de 2010, e valores referentes à correção geométrica feita pela NASA de 12, 84 m e 9,45 m para as imagens de 2015 e 2017, respectivamente. Os maiores valores de taxa de variação da linha de costa no setor 1, positivos e negativos, foram de $+3,61 \pm 10,06$ m/ano e de $-55,23 \pm 10,06$ m/ano, respectivamente. No setor 2, os maiores valores de taxa de variação da linha de costa, positivos e negativos, foram de $+35,61 \pm 10,06$ m/ano e de $-29,69 \pm 10,06$ m/ano, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1).

Em todo o período investigado, de 1986 a 2017, as taxas de variação da linha de costa foram associadas à margem de erro de $\pm 7,58$ m, a partir dos erros quadráticos médios de 0,47 m; 0,62 m; 0,48 m; 0,46 m; 0,81 m; 0,81 m; 0,41 m; 0,56 m; 0,46 m; 0,78 m; 0,66 m e correções geométricas de 12, 84 m e 9,45 m, referentes às imagens de 1986, 1990, 1991, 1993, 1996, 1998, 2000, 2003, 2005, 2007, 2010, 2015 e 2017. Os maiores valores de taxa de variação da linha de costa no setor 1, positivos e negativos, foram de $+12,30 \pm 7,58$ m/ano e de $-0,19 \pm 7,58$ m/ano, respectivamente. No setor 2, os maiores valores de taxa de variação da linha de costa, positivos e negativos, foram de $+16,50 \pm 7,58$ m/ano e de $-52,80 \pm 7,58$ m/ano, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1).

Tabela 1 – Maiores e menores taxas de variação da linha de costa (m/ano) por período nos dois setores do delta do rio São Francisco: setor 1 (lado alagoano) e setor 2 (lado sergipano).

Taxa de variação da linha de costa (m/ano)				
Período	Setor 1		Setor 2	
1986-1996	$+12,00 \pm 0,11$	$-6,68 \pm 0,11$	$+22,93 \pm 0,11$	$-153,13 \pm 0,11$
1998-2007	$+32,00 \pm 0,14$	$-1,39 \pm 0,14$	$+44,28 \pm 0,14$	$-40,81 \pm 0,14$
2010-2017	$+3,61 \pm 10,06$	$-55,23 \pm 10,06$	$+35,61 \pm 10,06$	$-29,69 \pm 10,06$
1986-2017	$+12,30 \pm 7,58$	$-0,19 \pm 7,58$	$+16,50 \pm 7,58$	$-52,80 \pm 7,58$

A taxa mais positiva e negativa de cada período esteve localizada em trechos que antecederam a localização do canal de Parapuça e trechos próximos à foz do rio São Francisco, respectivamente (Figura 3 e Tabela 1).

Comportamento da linha de costa

As taxas de variação da linha de costa, classificadas a partir de Luijendijk *et al.* (2018), caracterizaram o comportamento da linha de costa do delta do rio São Francisco.

No período de 1986 a 1996 (Figura 4), o delta apresentou 49% da extensão da linha de costa em acreção, 10% em estabilidade e 41% em algum estágio erosivo, com a erosão intensa predominando nessa categoria. No setor 1, a erosão extrema ocorreu nas áreas contíguas ao

promontório localizado no Pontal do Pebá e entre esse e a foz do rio São Francisco. No setor 2, a erosão extrema ocorreu na linha de costa contígua à foz do rio São Francisco, no Município de Brejo Grande - SE, e no pontal arenoso do canal de Parapuça (transectos 24 a 28).

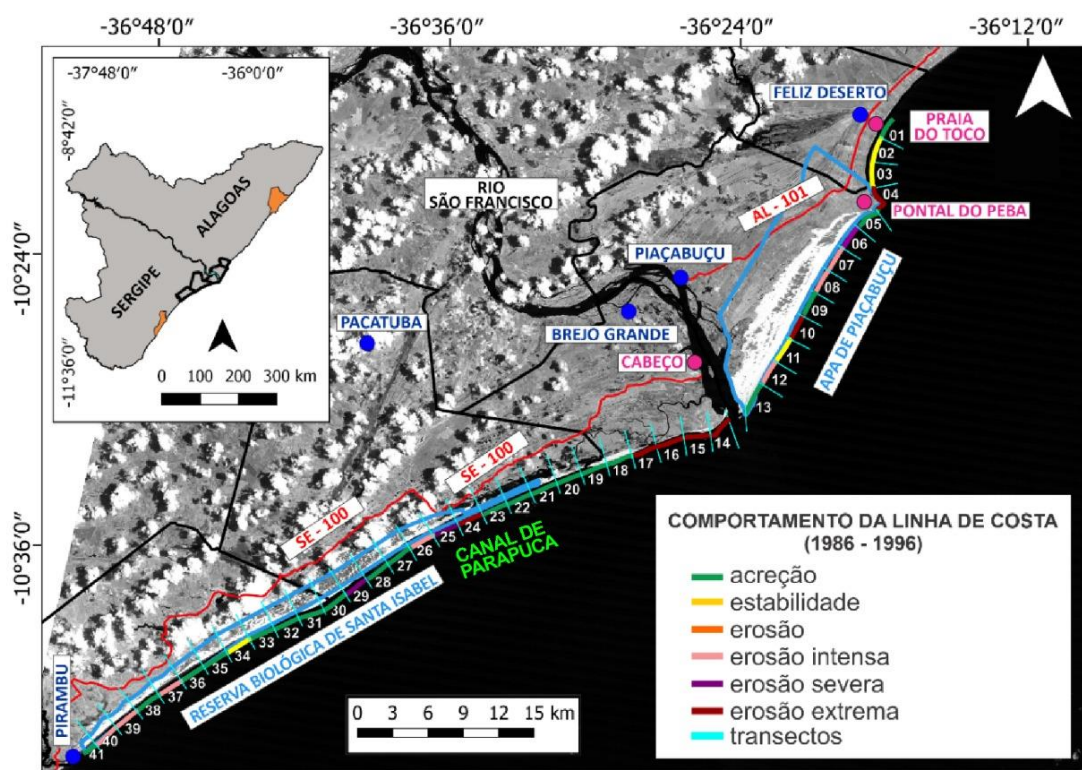


Figura 4- Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 1986 a 1996. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

No período de 1998 a 2007 (Figura 5), o delta apresentou 54% da linha de costa em acreção, 7% em estabilidade e 39% em algum estágio erosivo. A erosão extrema ocorreu apenas no setor 2, na linha de costa contígua à foz do rio São Francisco e no pontal arenoso do canal de Parapuça (transectos 24 a 28).

No período de 2010 a 2017 (Figura 6), o delta apresentou aproximadamente 24% da extensão da linha de costa em acreção, 3% em estabilidade e 73% em algum estágio erosivo, com a erosão extrema predominando nessa categoria. No setor 1, a erosão extrema esteve presente desde as áreas contíguas ao promontório localizado em Pontal do Pebá até a foz do rio São Francisco. No setor 2, a erosão extrema ocorreu nas vizinhanças da foz do rio São Francisco e no pontal arenoso do canal de Parapuça (transectos 24 a 28).

A análise conjunta dos dados de vazão fluvial média e do comportamento da linha de costa para os três períodos investigados mostrou que houve diminuição de 24% da vazão fluvial e aumento de 32% de trechos em erosão na linha de costa do delta do rio São Francisco, no período de 1986 a 2017 (Figura 7).

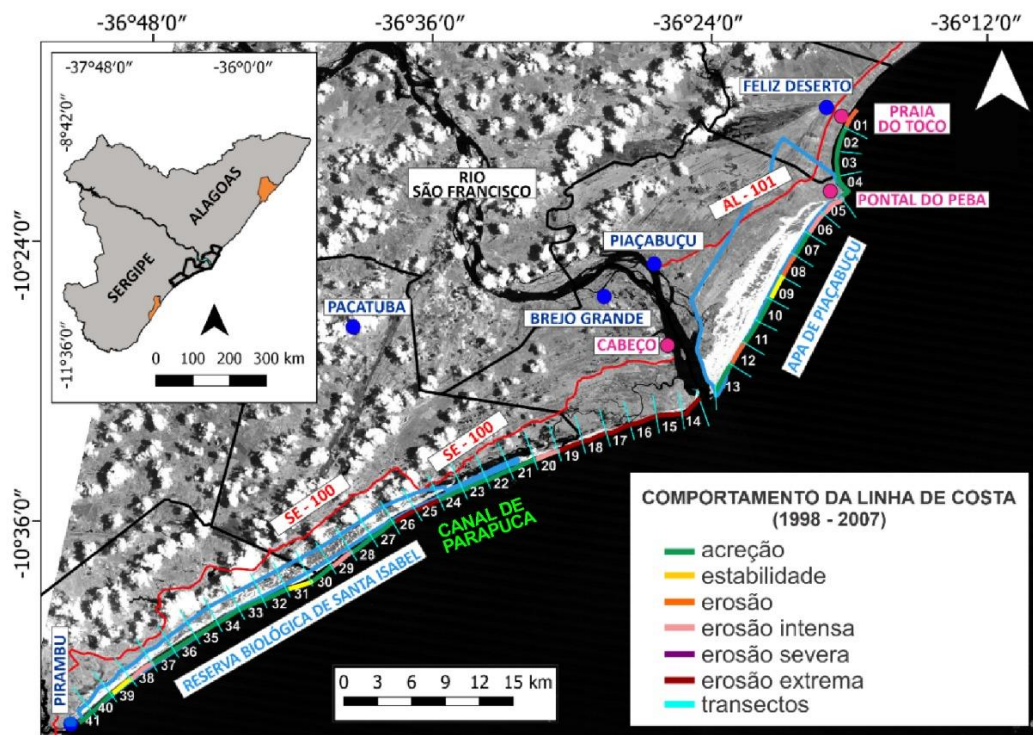


Figura 5- Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 1998 a 2007. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

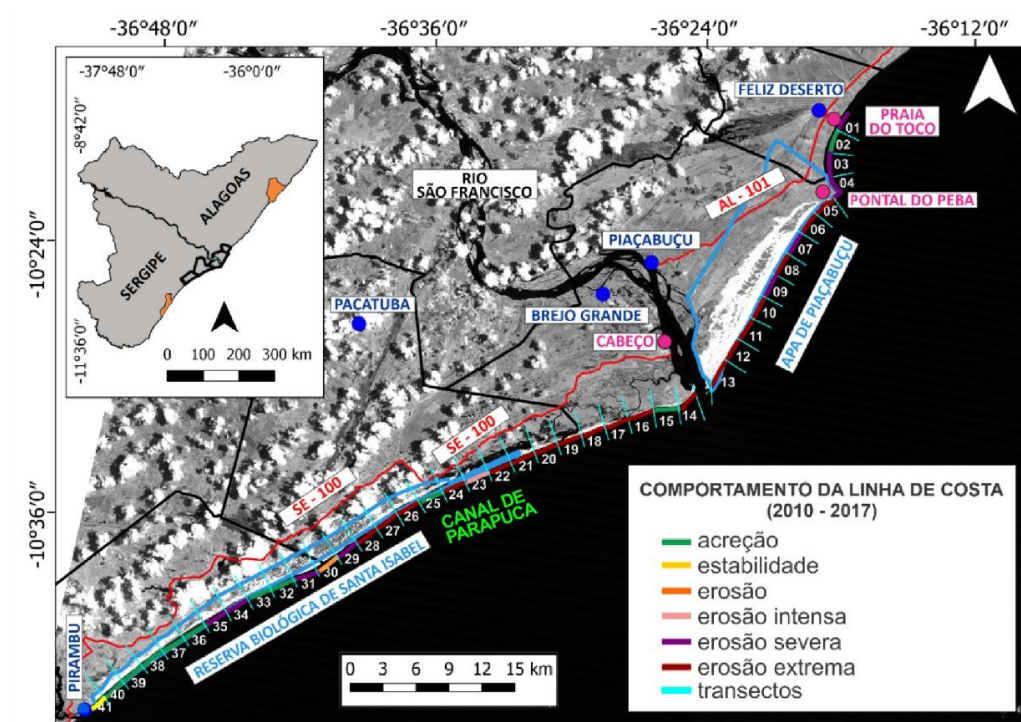


Figura 6- Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco, de 2010 a 2017. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

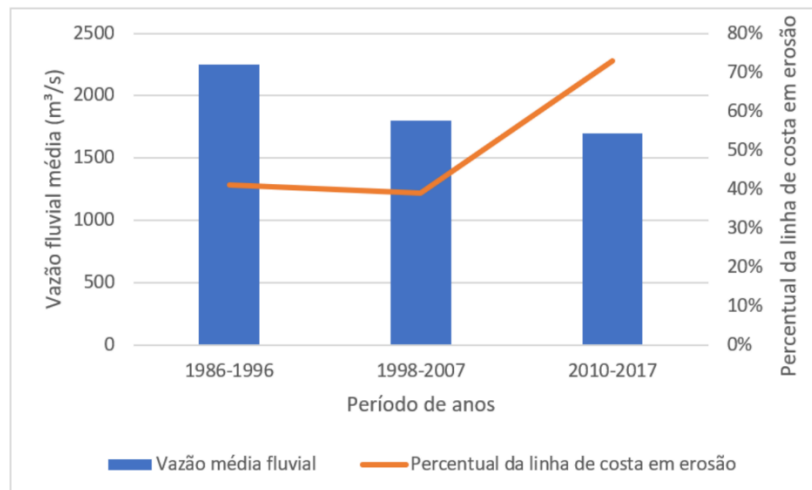


Figura 7- Vazão fluvial média (m³/s) e percentual da linha de costa em erosão no delta do rio São Francisco para o período de 1986 a 2017.

Em todo o período investigado, de 1986 a 2017 (Figura 8), o delta apresentou aproximadamente 80% da extensão da linha de costa em acreção, 5% em estabilidade e 15% em erosão. A erosão extrema concentrou-se próxima à foz do rio São Francisco apenas no setor 2.

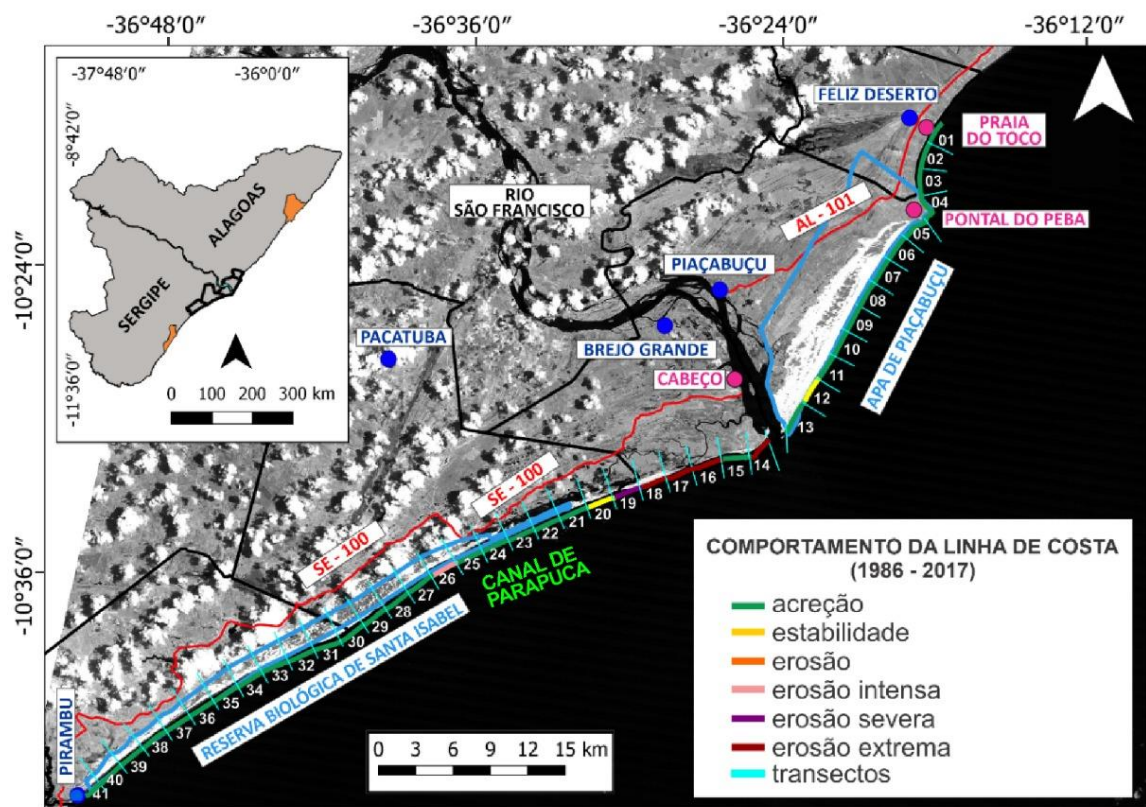


Figura 8- Comportamento da linha de costa para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta do rio São Francisco para todo o período investigado (1986 a 2017). Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

Faixas de proteção costeiras

Para determinação das faixas de proteção costeiras (casos 1 e 2), as taxas mais erosivas foram utilizadas (variável ΔrLT), sendo de $-55,23 \pm 10,06$ m/ano para o setor 1 e $-153,13 \pm 0,11$ m/ano para o setor 2.

A validação do método numérico adaptado de formulação das faixas de proteção projetadas a partir da linha de costa de 1986 para um período de 31 anos, ou seja, para 2017 (caso 1), apresentaram larguras de 1.712 e 4.747 m, para os setores 1 (Alagoas) e 2 (Sergipe) do delta, respectivamente (Figura 9). Por toda extensão do delta, as faixas mantiveram-se recuadas em relação à linha de costa de 2017, garantindo a segurança das ocupações humanas localizadas até as faixas em relação a erosão costeira, caso fossem implementadas em 1986.

A faixa de proteção costeira projetada a partir da linha de costa de 2017 para 20 anos, ou seja, para 2037 (caso 2), apresentou largura de 1.104 m para o setor 1 (lado alagoano). Porém, por estar localizada sobre a unidade de conservação (APA de Piaçabuçu) e dunas, a faixa foi recuada ao limite mais interno da unidade de conservação. Para o setor 2 (lado sergipano), a faixa apresentou largura de 3.062 m, sem a utilização do critério (Figura 10).

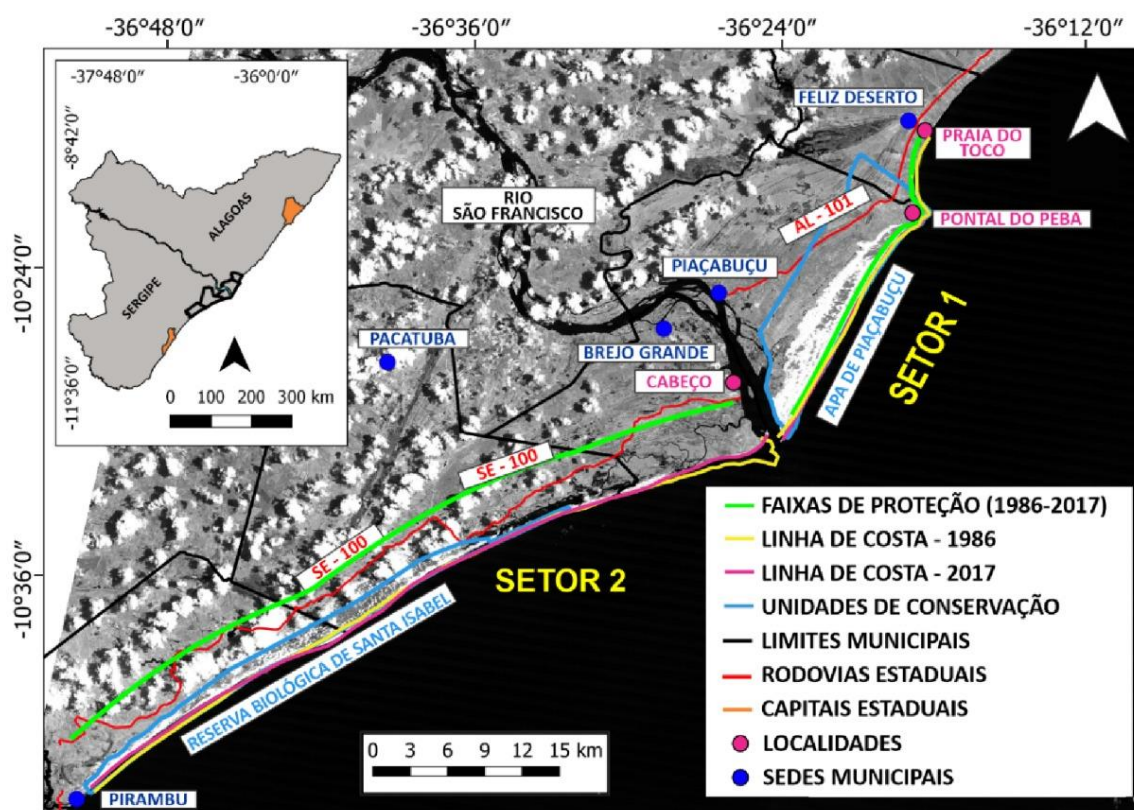


Figura 9- Faixas de proteção formuladas pelo método numérico adaptado projetadas da linha de costa de 1986, para um período de 31 anos, ou seja, para 2017 (caso 1). Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

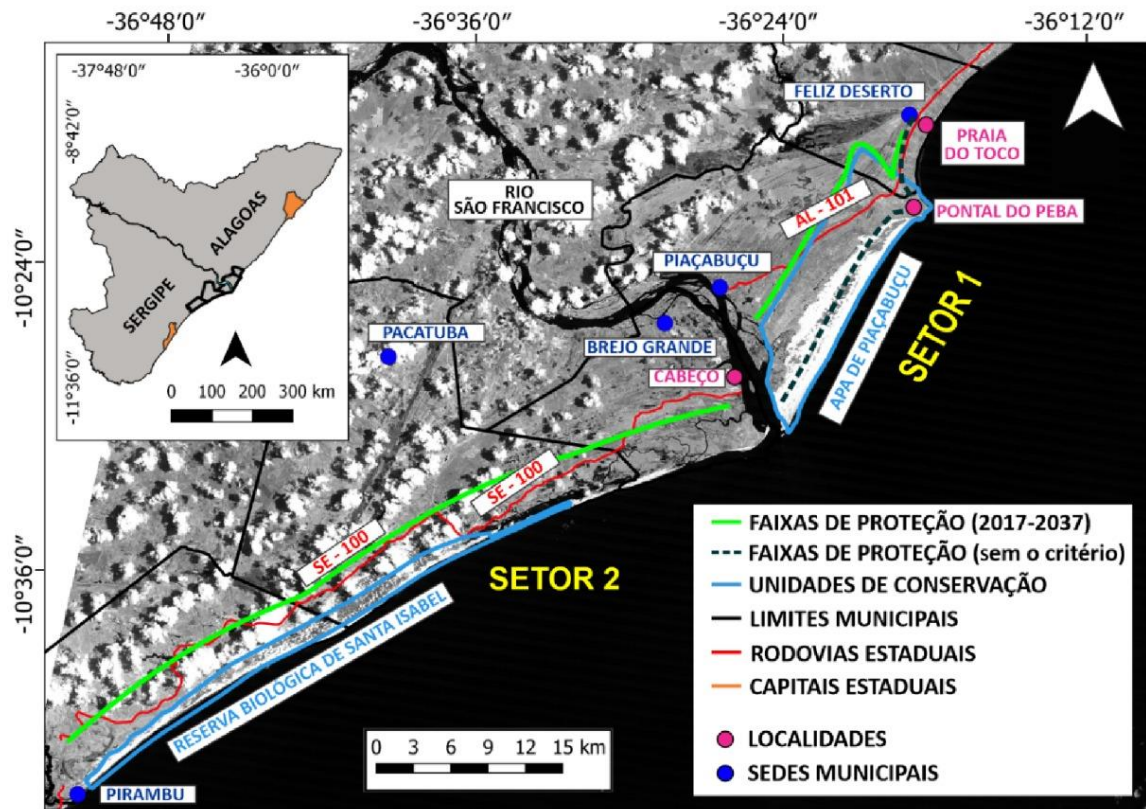


Figura 10- Faixas de proteção projetadas para 2037, a partir da linha de costa de 2017 (período de 20 anos, caso 2). A faixa tracejada em preto (setor 1) foi formulada pelo método numérico adaptado, enquanto a faixa verde (setor 1) representou o critério de recuo ao limite mais interno de unidades de conservação e/ou ecossistêmicas. A faixa do lado sergipano (setor 2) foi baseada no método numérico adaptado, sem a utilização do critério. Carta-imagem da banda pancromática do satélite Landsat-8 (18/04/2017).

2.5 DISCUSSÃO

As faixas de proteção costeiras são estabelecidas da linha de costa até uma posição mais interna, na qual são limitadas ou até proibidas ocupações antrópicas, preservando as características naturais da morfodinâmica costeira. A sua determinação é baseada em características locais (taxas de variação da linha de costa, variação do nível do mar, entre outras).

Vazão do baixo curso do rio São Francisco

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), a magnitude do transporte de sedimentos pelos rios é proporcional à velocidade do fluxo. Dessa forma, a redução de 24% da vazão fluvial média (Figura 2) expôs o decréscimo de material particulado em suspensão no baixo curso do rio São Francisco no período de 1986 a 2017. De acordo com Dominguez *et al.* (2018), o principal fator controlador da posição da linha de costa no delta do rio São Francisco é a descarga sedimentar fluvial. Portanto, a diminuição da vazão fluvial interferiu na dinâmica sedimentar costeira e, conseqüentemente, no comportamento da linha de costa, como será discutido posteriormente.

Processamento digital de imagens (PDI) - Georreferenciamento das imagens de satélite - Indicador de linha de costa

Os erros quadráticos menores que 1 pixel (imagens do Landsat-5), como recomendado por Melo & Pacheco (2004), associados aos erros da correção geométrica (imagens do Landsat-8) foram menores que a resolução espacial (15 m) das 13 imagens de satélite. Dessa forma, as margens de erros associadas aos intervalos de confiança variaram de $\pm 0,11$ m a $\pm 10,06$ m, sendo menores quando comparados aos trabalhos que utilizaram mapas históricos e/ou fotografias aéreas nas análises multitemporais de variação das linhas de costa, como visto em Morton *et al.* (2004), Morton & Miller (2005), Hapke *et al.* (2006) e Hapke & Reid (2007).

A escolha do indicador de linha de costa é quase sempre determinada pela disponibilidade de dados. Em função da resolução das imagens (15 m) e da presença de dunas bordejando as praias da área investigada, não foram possíveis os mapeamentos da linha de preamar máxima (limite areia seca e areia úmida) e a linha de vegetação, dois dos indicadores de linha de costa mais utilizados (BOAK; TURNER, 2005). A utilização da linha d'água como indicador de linha de costa, como visto em Stafford & Langfelder (1971) e Morton & McKenna (1999), tem como fator negativo a incerteza do posicionamento da linha de costa associada à variação do nível das marés. Porém, devido à resolução espacial das imagens de satélites, a pequena variação da maré na área de estudo (altura máxima de 2,5 m) tornou-se desprezível para este estudo. O realce por contraste linear nas imagens possibilitou a melhor visualização da linha d'água e a menor probabilidade de erro do operador no processo de digitalização manual das linhas de costa. O processo de digitalização manual permitiu a verificação detalhada dos contornos da linha d'água, pois são empregados os elementos fotointerpretivos, como tonalidade, textura, padrão, tamanho e par luz-sombra com o processo cognitivo do ser humano. Apesar do maior tempo operacional, é um método mais preciso do que a classificação supervisionada por pixel utilizada por Luijendijk *et al.* (2018), que utiliza somente a informação espectral (nível de cinza) da imagem.

Portanto, a padronização dos dados obtida na utilização exclusiva de imagens de satélite, restauração, realce por contraste linear e georreferenciamento das imagens proporcionou erros quadráticos médios considerados baixos, margens de erros associadas aos intervalos de confiança menores e melhor visualização e digitalização manual do indicador de linha de costa, aumentando a acurácia das análises multitemporais de variação da linha de costa.

Taxas de variação e comportamento da linha de costa

A padronização no processamento dos dados permitiu a atribuição igual de significância às 13 linhas de costa mapeadas na análise. Devido à quantidade de dados e mesma atribuição de peso aos mesmos, a regressão linear representou o método estatístico mais indicado para as análises multitemporais de variação da linha de costa, quando comparada à taxa de ponto final (*end point rate* – EPR) e à regressão linear ponderada (*weighted linear regression* – WLR), de acordo com Crowell *et al.* (1993), Mazzer & Dillenburg (2009) e Jonah *et al.* (2016).

A associação das taxas de variação à classificação do comportamento da linha de costa, com base em Luijendijk *et al.* (2018), possibilitou uma padronização global de análises quantitativas e qualitativas para a área investigada.

As taxas mais positivas ($> +0,5$ m/ano) corresponderam ao comportamento de acreção da linha de costa (Tabela 1). A redução da vazão e, conseqüentemente, diminuição da carga

sedimentar transportada pelo rio São Francisco, reduziu o acúmulo de sedimentos próximo à foz, permitindo que as taxas mais positivas (acrecção) estivessem associadas à morfodinâmica da extremidade móvel (canal de Parapuça) do pontal arenoso de Ponta dos Mangues (Figura 3 e Tabela 1). Os trechos que antecederam o transecto do canal de Parapuça apresentaram acúmulo de sedimentos (comportamento de acreção), fornecidos pelo transporte longitudinal da deriva litorânea (NE-SW), como visto no transecto 23 (Figura 4), transecto 24 (Figura 5) e transecto 25 (Figura 6). Posteriormente esse acúmulo de sedimentos foi remanejado pelo próprio transporte longitudinal da deriva litorânea, obstruindo a desembocadura fluvial e induzindo a contínua migração do canal no sentido de sotamar (SUGUIO *et al.* 1985; BIRD, 2008; GUIMARÃES; DOMINGUEZ, 2008). Essa migração retirou sedimentos dos trechos de movimentação do canal, resultando no deslocamento progressivo do comportamento de erosão extrema do transecto 24 (Figura 4), passando ao transecto 25 (Figura 5), chegando ao transecto 26 (Figura 6).

Porém, os trechos próximos à foz do rio São Francisco (Figura 3 e Tabela 1) apresentaram a taxa de erosão mais extrema encontrada no setor 1 (referente ao período de 2010 a 2017) e setor 2 (referente ao período de 1986 a 1996). Essas são as áreas de anexação e erosão de sedimentos provenientes do “efeito molhe” e barras fluviais, nos lados alagoano (setor 1) e sergipano (setor 2), respectivamente. Essas taxas foram superiores às utilizadas para determinação de faixas de proteção costeiras observadas na literatura, que variaram de -0,3 a -2,5 m/ano (FERREIRA *et al.* 2006; SABATIER *et al.* 2009; GLOBE; MACKAY, 2013; JONGEJAN *et al.* 2016; ABDALLA *et al.* 2017), também foi superior até mesmo a outras áreas de desembocaduras e embocaduras fluviais ou canais de maré (SABATIER *et al.* 2009; HOANG *et al.* 2015), sendo comparáveis apenas à taxa de erosão de 132 m/ano encontrada no delta do Nilo (HEREHER, 2011). Porém, ainda assim a taxa mais erosiva do lado sergipano foi superior. Dessa forma, análise quantitativa de tais taxas expuseram a gravidade do processo erosivo no delta do rio São Francisco.

O valor menos acentuado da taxa mais erosiva do lado alagoano, quando comparada ao lado sergipano (Figura 3 e Tabela 1) se deve ao fato da principal fonte sedimentar do setor 1 ser a ação episódica de retenção de sedimentos transportados pela deriva litorânea pela vazão fluvial, através do “efeito molhe” (BITTENCOURT *et al.* 2007). Porém, é importante destacar a participação de promontório e dunas (77% da extensão da linha de costa do lado alagoano do delta) na dinâmica costeira, contribuindo para taxas erosivas menos acentuadas no setor 1. A divergência do sentido da deriva litorânea na região do Pontal do Peba, proposta por Guimarães (2010), tende a gerar um *deficit* sedimentar tornando a área favorável às taxas de erosão mais acentuadas. Nesse contexto, o promontório (transectos 4 e 5) resistiu à tendência erosiva apresentando comportamento de acreção em ao menos um dos transectos nos períodos de 1998 a 2007 (Figura 5) e de 1986 a 2017 (Figura 8). Além disso, de acordo com Pranzini *et al.* (2015), as dunas, presentes no setor 1, representam defesa natural contra a erosão costeira, constituindo uma reserva de areia à praia para eventual *deficit* de sedimentos. Dessa forma, a presença das dunas contrabalançou o *deficit* sedimentar, contribuindo para taxas de erosão mais brandas no setor 1, processo que não ocorre no lado sergipano (setor 2), que apresenta uma parte bordejada por manguezais (Figura 1).

O valor mais acentuado da taxa mais erosiva do lado sergipano (Figura 3, Tabela 1), quando comparada ao lado alagoano, se deve ao fato da principal fonte sedimentar do setor 2 ser a carga sedimentar fluvial, gradualmente reduzida após as construções das barragens no rio São Francisco (BITTENCOURT *et al.* 2007). Além disso, a existência da divergência do sentido da deriva litorânea próxima à foz do rio São Francisco, proposta por Oliveira (2003),

contribuiu para acentuação das taxas erosivas nos trechos sergipanos na área. Estes trechos recebem sedimentos do lado alagoano através do *bypass* sedimentar, em períodos de baixa descarga fluvial quando não ocorre o “efeito molhe”, e os sedimentos de barras fluviais (acumulação de sedimentos na foz formando barras submersas e/ou emersas) são anexados à costa pela ação das ondas (DOMINGUEZ, 1996). Porém, estas fontes não conseguem conter a erosão no lado sergipano. Além disso, diferentemente do lado alagoano, o trecho sergipano próximo à foz não apresenta dunas para contrabalançar o *deficit* sedimentar.

As dinâmicas costeiras também foram responsáveis pelas alternâncias de valores maiores e menores das taxas erosivas do setor 1 e pelo gradual abrandamento dos valores das maiores taxas erosivas do setor 2 de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017 (Tabela 1). Estes comportamentos foram essenciais para analisar a interferência da variação do nível do mar e da redução da vazão fluvial nas taxas mais erosivas, descritos a seguir.

Partindo do princípio que as taxas representaram o balanço sedimentar, ou seja, a interação entre todos os agentes fornecedores e retirantes de sedimentos atuantes na dinâmica costeira (descarga sedimentar fluvial, variação do nível relativo do mar, ação de ondas, deriva litorânea, etc.), não foi necessário quantificar a ação de todos os agentes separadamente. Dessa forma, as taxas de variação da linha de costa consideraram variações do nível relativo do mar de 1986 a 2017. Cazenave *et al.* (2019) propuseram a elevação média do nível global do mar de $3,15 \pm 0,3$ mm/ano de 1993 a 2019. A partir dessa tendência seriam esperadas taxas gradualmente mais extremas de erosão da linha de costa do delta do rio São Francisco. Porém este registro não ocorreu (Tabela 1). Portanto, o balanço sedimentar negativo induzido pela menor disponibilidade de sedimentos das fontes foi mais atuante para ocorrência das taxas erosivas mais extremas encontradas nos lados alagoano e sergipano do delta de 1986 a 2017, quando comparado à elevação do nível do mar global.

Além disso, com a redução da vazão fluvial média nos mesmos períodos (Figura 2) eram esperadas taxas gradualmente mais erosivas nos lados alagoano e sergipano, porém, esta tendência não ocorreu (Tabela 1). Dessa forma, a redução da vazão fluvial não acentuou os valores das taxas de erosão na linha de costa do delta, sendo minimizadas por características específicas dos setores (“efeito molhe”, promontório, dunas, deposição sedimentar fluvial, *bypass* sedimentar e anexação de barras fluviais).

Porém, a redução das vazões médias do baixo curso do rio São Francisco esteve associada à estabilidade e/ou aumento do percentual de trechos em erosão no delta do rio São Francisco (Figura 7). De 2010 a 2017, a redução vazão fluvial média e, conseqüentemente, o fluxo de material particulado na foz atingiram valores críticos que alteraram a dinâmica costeira, causando um *deficit* sedimentar que provavelmente não foi compensado por outras fontes sedimentares. Dessa forma, no período de vazão fluvial média mínima, houve intensificação generalizada de trechos em comportamento erosivo no delta (Figura 6).

Em todo o período investigado, de 1986 a 2017 (Figura 8), predominou o comportamento de acreção na linha de costa. Além disso, o promontório de Pontal do Peba e o trecho mais próximo à foz no lado alagoano apresentaram constante acreção. Porém, esses comportamentos nem sempre foram representados nos períodos de 1986 a 1996, 1998 a 2007 e 2010 a 2017 (Figuras 4, 5 e 6). Este fato mostrou que análises multitemporais de períodos longos (1986 a 2017) podem não apresentar o detalhamento da evolução do comportamento da linha de costa vista nas análises multitemporais em períodos curtos (1986 a 1996, 1998 a 2007

e 2010 a 2017), sendo fundamental para determinação das faixas de proteção para o delta do rio São Francisco.

Faixas de proteção costeiras (*setback lines*)

A determinação de faixas de proteção baseou-se nas taxas de variações da linha de costa, fator extremamente importante para projeções de cenários futuros (MUEHE, 2004; MUEHE, 2018). As análises multitemporais em períodos curtos tornaram mais evidente as taxas mais erosivas dos setores 1 (período de 2010 a 2017) e 2 (período de 1986 a 1996), quando comparadas às taxas mais erosivas do período integral de 1986 a 2017 (Tabela 1). Além disso, a taxa mais extrema do lado sergipano (Tabela 1), encontrada no período de 1986 a 1996, foi superior a taxa mais extrema (98 m/ano) relatada por Bittencourt *et al.* (2007), para a mesma região no período de 1986 a 2001. Dessa forma, as faixas de proteção costeiras projetadas através de análises multitemporais de variação da linha de costa de períodos longos (aqui considerados maiores que uma década) não representariam a segurança ideal às ocupações humanas, pois não considerariam a possibilidade real de recuo da linha de costa vista em análises de curto prazo.

Portanto, a formulação de faixas de proteção costeiras pelo método numérico adaptado utilizou as taxas mais erosivas dos lados alagoano e sergipano do delta, baseadas em curtos períodos de análise. Essas taxas foram consideradas pontuais, por representarem um comportamento erosivo presente apenas nos trechos próximos à foz do rio São Francisco. Estas abordagens foram importantes por dois motivos.

O primeiro foi devido à alta variabilidade da linha de costa, alternando constantemente os valores das taxas erosivas. Dessa forma, utilizando as taxas mais extremas de erosão, foi considerado o cenário erosivo mais pessimista e a possibilidade de recuo máximo da linha de costa ao longo dos 31 anos, resultando em faixas extremamente protecionistas.

O segundo foi a possibilidade de transferência das taxas erosivas entre os transectos, como visto através da migração do canal de Parapuça (GUIMARÃES; DOMINGUEZ, 2008). Dessa forma, através de faixas lineares, este método considerou a possibilidade máxima de recuo da linha de costa para todos os transectos do delta.

Portanto, a utilização das taxas erosivas mais extremas garante faixas mais protecionistas, reduzindo riscos socioeconômicos às ocupações humanas.

Segundo Wainwright *et al.* (2014), os métodos utilizados para determinar as faixas de proteção costeiras diferem de acordo com as características de cada região. Dessa forma, devido à pouca disponibilidade de dados da área de estudo, o método numérico proposto por Sabatier *et al.* (2009) foi considerado o mais adequado para o delta do rio São Francisco, nesse trabalho.

A validação atestou a eficiência das faixas de proteção projetadas pelo método numérico adaptado a partir de Sabatier *et al.* (2009) pelo fato de após 31 anos não haver erosão costeira sobrepondo os limites das faixas (Caso 1, Figura 9). A sugestão destas faixas evitaria danos socioeconômicos a erosão costeira de 1986 a 2017, mas o posicionamento da faixa do lado alagoano permitiria ocupações humanas sobre as dunas e a APA de Piaçabuçu. Essa conduta foi evitada com o objetivo de preservar as dunas, importantes no balanço sedimentar da linha de costa (PRANZINI *et al.* 2015), além de proteção da biodiversidade, função da APA de Piaçabuçu (VIEIRA *et al.* 2010). Nesse último caso, a faixa do lado alagoano poderia estar

localizada sobre a APA de Piaçabuçu (no limite interno das dunas), haja visto que uma área de proteção ambiental pública permite certo grau de ocupação humana (VIEIRA *et al.* 2010). Porém, localizando a faixa no limite interno da unidade de conservação, a proteção da diversidade biológica local à ação antrópica atingirá níveis máximos.

Dessa forma, para o lado alagoano (setor 1) existiu a necessidade do uso do critério de recuo de faixas de acordo com as características geomorfológicas e/ou socioambientais locais.

No delta do rio São Francisco, os lados alagoano e sergipano do delta apresentaram intensidades erosivas diferentes devido às dinâmicas costeiras distintas, exigindo faixas de proteção costeiras que atendam às necessidades locais.

Portanto, houve a junção do método numérico adaptado, faixas de proteção do lado sergipano, e o critério de recuo ao limite interno da APA de Piaçabuçu, faixas de proteção do lado alagoano (Caso 2, Figura 10). Esse modelo visou tornar as faixas extremamente protecionistas à erosão costeira e incentivar a sustentabilidade ambiental ao aliar o desenvolvimento econômico à responsabilidade ambiental. Além de mostrar que características geomorfológicas e/ou socioambientais locais podem promover mudanças na largura das faixas, facilitando sua viabilidade. Este método poderá ser reproduzido em áreas de características similares.

O período de 20 anos foi considerado ideal por não ser tão curto para um planejamento ocupacional e nem tão longo para desatualização dos dados. A largura das faixas se adequa às condições ambientais da linha de costa. Portanto, mesmo sendo projetadas para 20 anos, recomenda-se que as faixas de proteção devem ser revistas e atualizadas a cada 5 a 10 anos (FERREIRA *et al.* 2006). Para o refinamento de futuras análises é necessária a aquisição e interpretação de dados de sensoriamento remoto, meteorológicos, oceanográficos e socioeconômicos. Os dados têm a finalidade de aumentar a precisão da projeção das faixas de proteção costeiras através de análises multitemporais de variação da linha de costa em períodos mais curtos. Além disso, projeções futuras de elevação do nível relativo do mar e possíveis recuos da linha de costa causados por ações de tempestades podem ser adicionados à análise, tornando a projeção mais completa que as faixas de proteção costeiras sugeridas neste artigo.

Devido à alta variabilidade do posicionamento da linha de costa nas áreas próximas às desembocaduras fluviais, as faixas de proteção costeiras projetadas para 2037 (caso 2, Figura 10) mostraram-se ideais, evitando e/ou impedindo a ocupação humana nas áreas mais dinâmicas, como sugerido por Muehe (2004) e Dominguez *et al.* (2018). Além disso, o fato de ser uma região pouco povoada possibilita que a implementação das faixas seja mais facilmente viável, pois, não teriam tanta resistência pela ainda baixa especulação imobiliária local (MUEHE, 2004).

Apesar da maior parte da linha de costa do delta ser delimitada por unidades de conservação, trechos de alta variabilidade próximos à foz não fazem parte da Reserva Biológica de Santa Isabel (Sergipe). Esta era a área da antiga localização do povoado do Cabeço, destruído pela erosão costeira, que ainda permite ocupações humanas (Figura 1). Portanto, visando evitar novos danos socioeconômicos, Dominguez *et al.* (2018) sugeriram que áreas de grande dinamicidade, como visto nos trechos do lado sergipano próximo à foz do rio São Francisco, tornem-se unidades de conservação, evitando ocupações humanas. Após o deslocamento devido ao recuo da linha de costa, a atual localização do povoado do Cabeço (aproximadamente

a 6 km da linha de costa) mostrou-se adequada ao posicionamento da faixa de proteção, não sendo necessário recuo da ocupação humana local até 2037 (Figura 10).

2.6 CONCLUSÃO

Como visto no presente trabalho, aspectos naturais e antrópicos da morfodinâmica costeira (redução da vazão fluvial, “efeito molhe”, promontório, dunas, deposição sedimentar fluvial, bypass sedimentar e anexação de barras fluviais) influenciaram na ocorrência do comportamento erosivo no delta do rio São Francisco.

A quantificação e qualificação dos comportamentos da linha de costa, em curtos períodos, constatou que a ação isolada da redução da vazão no baixo curso do rio São Francisco não tornou as taxas numericamente mais erosivas. Porém, contribuiu para o aumento do percentual de trechos erosivos na linha de costa, de 2010 a 2017.

A validação atestou a eficiência das faixas de proteção à erosão costeira e expôs a necessidade da utilização de critérios de recuo das mesmas de acordo com as características geomorfológicas e/ou socioambientais locais.

Portanto, as faixas de proteção costeiras para 2037 utilizaram o método numérico adaptado (faixa de proteção do lado sergipano) e o critério de recuo aos limites da unidade de conservação (faixa de proteção do lado alagoano).

O planejamento ambiental, através da realocação de pessoas e/ou infraestruturas e novos usos do espaço físico em longo prazo, poderá minimizar e/ou evitar riscos socioeconômicos à erosão costeira, além de incentivar a sustentabilidade ambiental, aliando desenvolvimento econômico à responsabilidade ambiental no delta do rio São Francisco.

2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, D. S.; MOOTY, M. E.; SOLIMAN, M. Coastal setback line considering the effect of run-up for the Nile delta zone. In: XX International Water Technology Conference, 2017, Ismailia. **Anais...** Egypt: International Water Technology Association. 2017. p. 512-522.

BARBOSA, L. M.; LIMA, C. C. U.; SANTOS, R. C. L.; CARVALHO, J. B.; SANTOS, C. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S. As variações morfológicas do campo de dunas ativas entre Pontal do Peba e a foz do rio São Francisco (AL). In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas costeiras dos países de expressão portuguesa, IX Congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos países de línguas ibéricas, 2003, Recife. **Anais...** São Paulo: ABEQUA. 2003. p. 1-3.

BARRETO, S. A.; RODRIGUES, T. K. Usos e conflitos na Reserva Biológica de Santa Isabel no trecho da zona costeira do Grupo de Bacias Costeiras 01 – Sergipe. In: III Seminário Nacional Espaços Costeiros, 2016, Salvador. **Anais...** Salvador: Grupo Costeiros. 2016. p. 1-12.

BELIZE (2003) **National Lands Act chapter 191**. Revised edition 2003, 40p.

BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction**. Second ed: Wiley, 2008. 412p.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FONTES, L. C. S.; SOUSA, D. L.; SILVA, I. R.; DA SILVA, F. R. Wave refraction, river damming, and episodes of severe shoreline erosion: The São Francisco River mouth, northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 23, n. 4, p. 930–938, 2007. DOI: 10.2112/05-0600.1

BITTENCOURT, A.C.S.P; DOMINGUEZ, J.M.L; OLIVEIRA, M.B. (2006). Erosão e progradação do litoral brasileiro-Sergipe. In: MUEHE, D. (org.) **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: p. 213-218.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FERREIRA, A. Y. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13, n. 2, p. 93-97, 1983.

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005. DOI: 10.2112/03-0071.1

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAZENAVE, A. HAMLINGTON, B.; HORWATH, M.; BARLETTA, V. R.; BENVENISTE, J.; CHAMBERS, D.; DOLL, P.; HOGG, A. E.; LEGEAIS, J. F.; MERRIFIELD, M.; MEYSSIGNAC, B.; MITCHUM, G.; NEREM, S.; PAIL, R.; PALANISAMY, H.; PAUL, F.; VON SCHUCKMANN, K.; THOMPSON, P. Observational requirements for long-term monitoring of the global mean sea level and its components over the Altimetry Era. **Frontiers in Marine Science**, v. 06, n. 582, p. 1-14, 2019. DOI: 10.3389/fmars.2019.00582

COELHO, C. D. B. **Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira**. Tese (Doutorado em Engenharia civil). Seção Autônoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro. 2005. 404p.

CPSE (CAPITANIA DOS PORTOS DE SERGIPE), MARINHA DO BRASIL 2018. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>> acessado em: 09 fev. 2018

CROWELL, M; LEATHERMAN, S.P; BUCKEY; M, K. Shoreline change rate analysis: long term versus short-term data. **Shore and Beach**, v. 61, n.1, p. 13-20, 1993.

DOMINGUEZ, J. M. L; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. **Sedimentary Geology**, v. 80, p.213-232, 1992.

DOMINGUEZ J. M. L., BITTENCOURT A. C. S. P., MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 13, n. 2, p. 98-105, 1983.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCORT, A. C. S. P. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *In: Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. 1996. p. 355-371.

DOMINGUEZ, J.M.L; GUIMARÃES, J.K; BITTENCOURT, A.C.S.P. Alagoas, Sergipe e Bahia (2018). In MUEHE. D (org.) **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: p. 341-432.

DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas. **Geological Society Special Publication**, n. 117, p. 217-231, 1996.

FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A.; TABORDA, R.; DIAS, J. A. An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**, v. 26, p. 1030-1044, 2006. DOI:10.1016/j.csr.2005.12.016

FONTES, A. L. Processos erosivos na desembocadura do Rio São Francisco. *In: VIII Congresso da ABEQUA*, 2001, Imbé. **Anais...** São Paulo: ABEQUA. 2001. p. 66–67.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. Quarta ed. Cengage Learning, 2010. 431p.

GLOBE, B. J.; MACKAY, C. F. Developing risk set-back lines for coastal protection using shoreline change and climate variability factors. **Journal of Coastal Research**, v. Special Issue, n. 65, p. 2125-2130, 2013. DOI: 10.2112/SI65-359.1

GUIMARÃES, J. K.; DOMINGUEZ, J. M. L. A influência da refração de ondas e da deriva litorânea na dinâmica do pontal arenoso de Ponta dos Mangues. *In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 2008, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Congresso Brasileiro de Geologia. 2008. p. 1-4.

GUIMARÃES, J. K. **Evolução do delta do rio São Francisco - estratigrafia do Quaternário e relações morfodinâmicas**. Tese (Doutorado em Ciências – Geologia). Câmara de Ensino e Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2010. 128p.

HAPKE, C. J.; REID, D. (2007) **National assessment of shoreline change, part 4: historical coastal cliff retreat along the California Coast**. Open File Report 2007-1133, 51p.

HAPKE, C. J.; REID, D.; BRUCE, M. R.; RUGGIERO, P.; LIST, J. (2006) **National assessment of shoreline change part 3: historical shoreline change and associated coastal land loss along sandy shorelines of the California Coast**. Open File Report 2006-1219, 72p.

HEGDE, A. V. Coastal erosion and mitigation methods – Global State of art. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**. v. 39, n. 4, p. 521-530, 2010.

HEREHER, M. E. Mapping coastal erosion at the Nile Delta western promontory using Landsat imagery. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 4, p. 1117-1125, 2011. DOI 10.1007/s12665-011-0928-9

HOANG, V. C; THANH, T. M; VIET, T. N; TANAKA, H. Shoreline change at the Da Rang river mouth, Vietnam. In: V International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC2015), 2015, Omam. **Anais...** Omam. 2015. p. 312-318. ISBN: 9789996905957.

HOUCK, O. A. Environmental law in Cuba. **Florida State University Journal of Land Use and Environmental Law**, v. 16, n. 01, p. 1-81, 2018.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2018). **Climate change 2018: the physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel**. Cambridge University Press. 243p.

JONGEJAN, R.; RANASINGHE, R.; WAINWRIGHT, D.; CALLAGHAN, D. P.; REYNS, J. Drawing the line on coastline recession risk. **Ocean & Coastal Management**, v.122, p.87-94, 2016.

JONAH, F. E.; BOATENG, I.; OSMAN, A.; SHIMBA, M. J.; MENSAH, E. A.; ADU-BOAHEN, K.; CHUKU, E. O.; EFFAH, E. Shoreline change analysis using end point rate and net shoreline movement statistics: An application to Elmina, Cape Coast and Moree section of Ghana's coast. **Regional Studies in Marine Science**, v. 7, p. 19-31, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.05.003>

LUIJENDIJK, A; HAGENAARS, G; RANASINGHE, R, BAART, F; GENNADII, D; ARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports-Nature**, v. 8, n. 6641, p. 1-11, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-24630-6

MAZZER, A.M; DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. **Pesquisa em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 117-135, 2009. DOI: 10.22456/1807-9806.17880

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; DOS SANTOS JUNIOR, R. C.; DE SOUZA, W. F. L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 2, p. 212-231, 2007.

MEDEIROS, P. R. P.; DOS SANTOS, M. M.; CAVALCANTE, G. H.; DE SOUZA, W. F. L.; DA SILVA, W. F. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, n. 01, p. 65-78, 2014. DOI: 10.5327/Z0102-9800201400010007.

MELO, I. D. F.; PACHECO, A. P. Aspectos da correção geométrica das imagens orbitais. In: I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2004, Recife. **I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2004.

MORTON, R. A.; MCKENNA, K. K. Analysis and projection of erosion hazard areas in Brazoria and Galveston Counties, Texas. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n. 28, p. 106-120, 1999.

MORTON, R. A.; MILLER, T. L.; MOORE, L. J. (2004) **National Assessment of shoreline change: part 1 historical shoreline changes and associated coastal land loss along the U.S. Gulf of Mexico**. Open File Report 2004-1043, 42p.

MORTON, R. A.; MILLER, T. L. (2005) **National Assessment of shoreline change: part 2 historical shoreline changes and associated coastal land loss along The U.S. Southeast Atlantic Coast**. Open File Report 2005-1401, 35p.

MUEHE, D. (2004) **Projeto orla: subsídios para um projeto de gestão**. Ministério do Meio Ambiente, 101p.

MUEHE, D. (2018) **Programa Nacional para Conservação da linha de Costa – PROCOSTA**, Brasília, Brasil, Ministério do Meio Ambiente, 36p.

MURRAY, C. S., CLARKE, C. S. L. M., CLARKE, J. D., SCOTT, D., CLARKE, A. J. (2012) **Coastal setbacks in Latin America and the Caribbean: A study of emerging issues and trends that inform guidelines for coastal planning and development**. Publicação N°. IDB - TN – 476, 175p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª Edição, Rio de Janeiro, 1989. 422p.

NORDSTROM, K. F. **Recuperação de praias e dunas**. Editora Oficina de Textos, 2010. 263p.

OLIVEIRA, A. M.; JUNIOR, R. C. S.; HERNANDEZ, A. O.; SEGUNDO, G. H. C.; ARAÚJO, A. E. M. A morte do delta do rio São Francisco. In: II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas costeiras dos países de expressão portuguesa, IX Congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos países de línguas ibéricas, 2003, Recife. **Anais...** São Paulo: ABEQUA. 2003. p. 1-4.

OLIVEIRA, M. B. **Caracterização integrada da linha de costa do Estado de Sergipe - Brasil**. Tese (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2003.102p.

PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NNM3 Reanalyses. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 53-70, 2010.

PRANZINI, E.; WETZEL, L.; WILLIAMS, A. T. Aspects of coastal erosion and protection in Europe. **Journal of Coastal Conservation**, v. 19, p. 445-459, 2015. DOI 10.1007/s11852-015-0399-3.

SABATIER, F.; SAMAT, O.; BRUNEL, C.; HEURTEFEUX, H.; DELANGHE-SABATIER, D. Determination of set-back lines on eroding coasts. Example of the beaches of the Gulf of Lions (French Mediterranean Coast). **Journal of Coastal Conservation**, v. 13, p. 57-64, 2009. DOI 10.1007/s11852-009-0062-y

SANCHEZ-ARCILLA A.; JIMENEZ J. A.; VALDEMORO H. I. The Ebro delta: morphodynamics and vulnerability. **Journal of Coastal Research**, v. 14, n. 3, p. 754–772, 1998.

SANTOS, E. A. P.; LANDIM, M. F.; OLIVEIRA, E. V. S.; SILVA, A. C. C. D. Conservação da zona costeira e áreas protegidas: a Reserva Biológica de Santa Isabel (Sergipe) como estudo de caso. **Natureza Online**, v. 15, n. 3, p. 41-57, 2017. ISSN 1806-7409

SILVA, R., MARTÍNEZ, M. L., HESP, P. A., CATALAN, P., OSORIO, A. F., MARTELL, R., FOSSATI, M., SILVA, G. M., MARÍÑO-TAPIA, I., PEREIRA, P., CIENGUEGOS, R., KLEIN, A., GOVAERE, G., “Present and future challenges of coastal erosion in Latin America”, *Journal of Coastal Research*, v. Special Inssue, n. 71, pp. 1-16, 2014.

SILVA, R.; MARTÍNEZ, M. L.; HESP, P. A.; CATALAN, P.; OSORIO, A. F.; MARTELL, R.; FOSSATI, M.; SILVA, G. M.; MARIÑO-TAPIA, I.; PEREIRA, P.; CIENGUEGOS, R.; KLEIN, A.; GOVAERE, G. Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. **Journal of Coastal Research**, v. Special Issue, n. 71, p. 1-16, 2014. DOI: 10.2112/SI71-001.1

SILVA, E. N.; LIMA, P. V. P. S.; FILHO, F. C. Contextualizando a transposição do São Francisco: Considerações sobre a integração entre o projeto e demandas das comunidades rurais. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 14, n. 25, p. 1772-1787, 2017. DOI: 10.18677.

STAFFORD, D. B.; LANGFELDER, J. Air photo survey of coastal erosion. **Photogrammetric Engineering**, v. 37, n. 6, p. 565–575, 1971.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 280p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 4, p. 273-286, 1985.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, v. 11, p. 53-66, 2007. DOI 10.1007/s11852-007-0003-6

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U.S. Geological Survey, 2009, 79p.

VIEIRA, C. L.; GONÇALVES, V.; VIEIRA, R. C.; BESERRA, M. L. (2010) **Plano de manejo para Área de Proteção Ambiental de Piaçabuçu**. Ministério do Meio Ambiente, 497p.

WAINWRIGHT, D. J.; RANASINGHE, R.; CALLAGHAN, D. P.; WOODROFFE, C. D.; COWELL, P. J.; ROGERS, K. An argument for probabilistic coastal hazard assessment: Retrospective examination of practice in New South Wales, Australia. **Ocean & Coastal Management**. v. 95, p. 147-155, 2014.

WEIGUO, L.; BHATTACHARYA, J. P.; YINGMIN, W. Delta asymmetry: Concepts, characteristics, and depositional models. **Petroleum Science**, v. 8, n. 3, p. 278-289, 2011. DOI 10.1007/s12182-011-0145-x

CAPÍTULO 3: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto no presente trabalho, aspectos naturais e antrópicos da morfodinâmica costeira (redução da vazão fluvial, “efeito molhe”, promontório, dunas, deposição sedimentar fluvial, *bypass* sedimentar e anexação de barras fluviais) influenciaram na ocorrência do comportamento erosivo no delta do rio São Francisco.

A quantificação e qualificação dos comportamentos da linha de costa, em curtos períodos, constatou que a ação isolada da redução da vazão no baixo curso do rio São Francisco não tornou as taxas numericamente mais erosivas. Porém, contribuiu para o aumento do percentual de trechos erosivos na linha de costa, de 2010 a 2017.

A validação atestou a eficiência das faixas de proteção à erosão costeira e expôs a necessidade da utilização de critérios de recuo das mesmas de acordo com as características geomorfológicas e/ou socioambientais locais.

Portanto, as faixas de proteção costeiras para 2037 utilizaram o método numérico adaptado (faixa de proteção do lado sergipano) e o critério de recuo aos limites da unidade de conservação (faixa de proteção do lado alagoano).

O planejamento ambiental, através da realocação de pessoas e/ou infraestruturas e novos usos do espaço físico em longo prazo, poderá minimizar e/ou evitar riscos socioeconômicos à erosão costeira, além de incentivar a sustentabilidade ambiental, aliando desenvolvimento econômico à responsabilidade ambiental no delta do rio São Francisco.

[illegible]

4. O texto está em espaço simples; usa a fonte Times New Roman de 12-pontos; as figuras e tabelas deverão estar inseridas no final do texto e indicadas onde devem ser inseridas ao longo do texto.
5. Os autores deverão encaminhar o artigo sem qualquer possível identificação para que seja possível garantirmos a avaliação às cegas pelos revisores.
6. Deverão ser entregues, pelo ao menos, dois arquivos do Word. O primeiro, de nome "trabalho_texto" que deverá ser anexado como o arquivo do artigo, deverá conter apenas título em português, título em inglês, resumo, três palavras chaves, abstract, três keywords. O segundo de nome "trabalho_capa", que deverá ser anexado em arquivos complementares, constando apenas o título em português, seguido do título em inglês; logo abaixo o nome completo de cada autor com afiliações e seus endereços completos e os emails.
7. O resumo e o abstract não deverão ultrapassar o máximo de 500 palavras. O resumo deverá ser escrito em português e em inglês. O texto do artigo não deverá exceder 8000 palavras, com uma média de 10 páginas no formato A4 e margens 2,5cm.
8. O autor correspondente é obrigado a cadastrar todos os autores do artigo (no sistema da revista) com seus respectivos vínculos institucionais no processo de submissão do artigo.
9. É de inteira responsabilidade do(s) autor(es) o conteúdo do artigo submetido.
10. Os autores declaram não haver qualquer potencial conflito de interesse, incluindo interesses políticos e/ou financeiros associados a patentes ou propriedade, provisão de materiais e/ou insumos e equipamentos utilizados no estudo pelos fabricantes.
11. Os autores devem declarar todas as fontes de financiamento ou suporte, institucional ou privado, para a realização do estudo.
12. No caso de estudos realizados sem recursos financeiros institucionais e/ou privados, os autores devem declarar que a pesquisa não recebeu financiamento para a sua realização.
13. O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Instruções para os Autores, na seção Sobre a Revista. As referências bibliográficas devem ser apresentadas ao final do trabalho, em ordem alfabética do último sobrenome do autor, seguindo o padrão abaixo:

Para artigo científico:

ARATTANO, M.; FRANZI, L. On the evaluation of debris flows dynamics by means of mathematical models. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 3, n. 6, p. 539–544, 2003. DOI: 10.5194/nhess-3-539-2003

Para livro:

HUGGET, R. J. **Fundamentals of Geomorphology**. Second ed. London: Taylor and Francis, 2007. 458p.

Para capítulo de livro:

CASTRO, S. S. (1999). Micromorfologia de Solos Aplicada ao Diagnóstico de Erosão. In GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro: p. 127-163.

Para trabalhos em anais de eventos:

NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C. C. F.; FREITAS, R. M.; MELACK, J.; SHIMABUKURO, Y. E.; PEREIRA FILHO, W. Distribuição sazonal de fitoplâncton no Lago Grande de Curuai em resposta ao pulso de inundação do Rio Amazonas a partir da análise de imagens MODIS. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE. 2005. p. 3175-3182. ISBN 85-17-00018-8.

Para dissertações e/ou teses:

DOS SANTOS, V.C. **Ambientes de confluência no contexto da rede de drenagem: Exemplo da bacia hidrográfica do rio Ivaí – Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2015. 458p.

Para relatório técnico, manual:

IPT (1991) **Ocupação de encostas**. Publicação IPT nº 1831, 216p.

As URLs deverão ser citadas no final das referências com o link completo e data de acesso.

DECLARAÇÃO DE DIREITO AUTORAL

Autor(es) conservam os direitos de autor e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a Licença Creative Commons Attribution que permite a partilha do trabalho com reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.

POLÍTICA DE PRIVACIDADE

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

Endereço para Correspondência

Roberto Verdum Av. Bento Gonçalves, 9500 Departamento de Geografia Instituto de Geociências/UFRGS Prédio 43136 - sala 216 Bairro Agronomia CEP: 91509-900 - Porto Alegre-RS

G) CONTATO

Prof. Dr. Roberto Verdum (UFRGS) e-mail: 00006247@ufrgs.br

Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan (UFJF) e-mail: ricardo.zaidan@ufjf.edu.br

ANEXO 2: COMPROVANTE DA SUBMISSÃO DO ARTIGO

[RBG] Agradecimento pela submissão ➤

Caixa de entrada x



Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

para mim ▼

Iaggo Correia Iaggo Oliveira Correia,

Agradecemos a submissão do trabalho "Faixas de proteção à erosão costeira no delta do rio São Francisco" para a revista Revista Brasileira de Geomorfologia.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão:

<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/author/submission/1918>

Login: iaggocorreia

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Editores da Revista Brasileira de Geomorfologia

Revista Brasileira de Geomorfologia

<http://www.lsie.unb.br/rbg>